

## ÍNDICE:

AGRADECIMENTOS.....	5
SUMÁRIO: .....	6
ABSTRACT: .....	7
DEDICATÓRIAS: .....	8
I. ANÁLISE E ACTUALIZAÇÃO DAS REGRAS (2009): .....	9
A. RESTRIÇÕES GERAIS DA COMPETIÇÃO: .....	9
II. ESTUDO ANTROPOMÉTRICO: .....	17
III. OPTIMIZAÇÃO ESTRUTURAL: .....	19
A. OPTIMIZAÇÃO TOPOLÓGICA.....	19
B. CÁLCULOS PRELIMINARES: .....	20
IV. DEFINIÇÃO DE UMA ESTRUTURA PRELIMINAR PARA O CHASSIS ATRAVÉS DA ANÁLISE TOPOLÓGICA:.....	21
V. MATERIAIS: .....	23
VI. MODELAÇÃO EM <i>SOLIDWORKS</i> : .....	24
VII. ANÁLISE DO CHASSIS EM <i>ANSYS</i> :.....	25
VIII.MATÉRIA-PRIMA NECESSÁRIA: .....	40
IX. PLANEAMENTO DO PROCESSO DE FABRICO (PRODUÇÃO) E ORÇAMENTAÇÃO:.....	47
X. CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS: .....	56
XI. BIBLIOGRAFIA: .....	58
XII. ANEXOS: .....	61
A. NOTA INTRODUTÓRIA À COMPETIÇÃO: .....	61
B. “KEYPOINTS” DO CHASSIS ANALISADO INICIALMENTE: .....	64
C. LISTA NÓS SOLUÇÃO N.º 1 DE CHASSIS:.....	65
D. LISTA NÓS SOLUÇÃO N.º 2 DE CHASSIS:.....	66
E. LISTA NÓS SOLUÇÃO N.º 3 DE CHASSIS:.....	67
F. LISTA NÓS SOLUÇÃO N.º 4 DE CHASSIS:.....	68
G. DIMENSÕES ELEMENTOS ORÇAMENTADOS: .....	69

## ÍNDICE DE FIGURAS:

FIG. 1 – POSICIONAMENTO DO PILOTO EM RELAÇÃO AOS ARCOS DE PROTECÇÃO;	11
FIG. 2 – DIMENSÃO MÍNIMA ENTRE ARCO CENTRAL E BRAÇO DE APOIO;	12
FIG. 3 – POSIÇÃO DO CAPACETE EM RELAÇÃO AO ARCO CENTRAL, DEVIDO AO BRAÇO DE APOIO;	12
FIG. 4 – LIGAÇÃO DUPLA;	13
FIG. 5 – LIGAÇÃO EM MANGA;	14
FIG. 6 – LIGAÇÃO EM MANGA;	14
FIG. 7 – LIGAÇÃO DUPLA;	14
FIG. 8 – PROTECÇÃO ESTRUTURAL AO PILOTO;	15
FIG. 9 – ENVELOPE DO VEÍCULO;	16
FIG. 10 – DIMENSÕES ANTROPOMÉTRICAS DE 95% DOS INDIVÍDUOS;	17
FIG. 11 – ESQUEMA REPRESENTATIVO DAS 24 DIMENSÕES ANTROPOMÉTRICAS CONSIDERADAS NO ESTUDO;	17
FIG. 12 – ESBOÇO DO CHASSIS COM BASE NAS DIMENSÕES ANTROPOMÉTRICAS [4];	18
FIG. 13 – EXEMPLO DE OPTIMIZAÇÃO TOPOLÓGICA DE UMA VIGA EM CONSOLA, EM DUAS DIMENSÕES, SUJEITA A UMA FORÇA VERTICAL;	19
FIG. 14 – EXEMPLO DE OPTIMIZAÇÃO ESTRUTURAL BI-DIMENSIONAL, UTILIZANDO SOFTWARE DE OPTIMIZAÇÃO;	20
FIG. 15 – UM DOS PRIMEIROS RESULTADOS DE OPTIMIZAÇÃO DO CHASSIS;	20
FIG. 16 – GEOMETRIA DO ELEMENTO DE <i>ANSYS SHELL93</i> ;	21
FIG. 17 – TENSÕES DE SAÍDA DO ELEMENTO DE <i>ANSYS PIPE16</i> ;	21
FIG. 18 – RESULTADOS OBTIDOS EM ANÁLISE TOPOLÓGICA (VISTA EM PERSPECTIVA);	22
FIG. 19 – RESULTADOS OBTIDOS EM ANÁLISE TOPOLÓGICA (VISTA LATERAL) E POSICIONAMENTO DOS CARREGAMENTOS DE EMBATE IMPOSTOS;	22
FIG. 20 – MODELAÇÃO DO CHASSIS 2008, 1.ª VERSÃO;	24
FIG. 21 – MODELAÇÃO DO CHASSIS 2009, VERSÃO OBTIDA;	24
FIG. 22 – ANÁLISE DO CHASSIS 2008 V01 ATRAVÉS DO <i>ANSYS WORKBENCH</i> ;	25
FIG. 23 – GEOMETRIA DO ELEMENTO DE <i>ANSYS PIPE16</i> ;	26
FIG. 24 – TENSÕES DE SAÍDA DO ELEMENTO DE <i>ANSYS PIPE16</i> ;	26
FIG. 25 – GEOMETRIA DO ELEMENTO DE <i>ANSYS PIPE18</i> ;	26
FIG. 26 – TENSÕES DE SAÍDA DO ELEMENTO DE <i>ANSYS PIPE18</i> ;	27
FIG. 27 – ENSAIO COM O ELEMENTO <i>PIPE16</i> ;	27
FIG. 28 – DEFINIÇÕES DE SAÍDAS DO ELEMENTO <i>PIPE16</i> , DA AJUDA DO <i>ANSYS</i> ;	28
FIG. 29 – ÍTEMS E NÚMEROS DE SEQUÊNCIAS DE OBTENÇÃO DE RESULTADOS DO <i>ANSYS</i> ;	28
FIG. 30 – RESULTADO DO ENSAIO COM O ELEMENTO <i>PIPE16</i> ;	29
FIG. 31 – CÁLCULO DAS COMPONENTES DO CARREGAMENTO APLICADO NO TOPO DO ARCO DE PROTECÇÃO TRASEIRO;	29
FIG. 33 – MODELAÇÃO DOS NÓS E DOS ELEMENTOS. CARREGAMENTOS E CONSTRANGIMENTOS APLICADOS;	30
FIG. 32 – 1.ª MODELAÇÃO 2009 EM <i>ANSYS</i> DO CHASSIS. REPRESENTAÇÃO EM <i>KEYPOINTS</i> E <i>LINES</i> ;	30
FIG. 34 – PARÂMETROS RELATIVOS AOS ELEMENTOS DE SECÇÃO QUADRADA <i>BEAM4</i> ;	32
FIG. 35 – ESFORÇOS DE SUSPENSÃO;	32
FIG. 36 – CARREGAMENTO EMBATE FRONTAL;	33
FIG. 37 – CARREGAMENTO EMBATE LATERAL;	33
FIG. 38 – CARREGAMENTO CAPOTAMENTO;	33
FIG. 39 – ESFORÇOS DA SUSPENSÃO;	33
FIG. 40 – EMBATE FRONTAL, SOLUÇÃO 1;	34
FIG. 41 – EMBATE LATERAL, SOLUÇÃO 1;	34
FIG. 42 – CAPOTAMENTO, SOLUÇÃO 1;	34
FIG. 43 – TOTAL EMBATES, SOLUÇÃO 1;	34
FIG. 44 – ESFORÇOS SUSPENSÃO, SOLUÇÃO 1;	35
FIG. 45 – TOTAL ESFORÇOS, SOLUÇÃO 1;	35
FIG. 46 – EMBATES FRONTAL, SOLUÇÃO 2;	36
FIG. 47 – EMBATES LATERAL, SOLUÇÃO 2;	36
FIG. 48 – CAPOTAMENTO, SOLUÇÃO 2;	36
FIG. 49 – TOTAL EMBATES, SOLUÇÃO 2;	36
FIG. 50 – ESFORÇOS SUSPENSÃO, SOLUÇÃO 2;	36
FIG. 51 – TOTAL ESFORÇOS, SOLUÇÃO 2;	36
FIG. 52 – EMBATE FRONTAL, SOLUÇÃO 3;	37
FIG. 53 – EMBATE LATERAL, SOLUÇÃO 3;	37
FIG. 54 – CAPOTAMENTO, SOLUÇÃO 3;	37

FIG. 55 – EMBATES TOTAIS, SOLUÇÃO 3;.....	37
FIG. 56 – ESFORÇOS SUSPENSÃO, SOLUÇÃO 3;.....	37
FIG. 57 – ESFORÇOS TOTAIS, SOLUÇÃO 3; .....	37
FIG. 58 – EMBATE FRONTAL, SOLUÇÃO 4;.....	38
FIG. 59 – EMBATE LATERAL, SOLUÇÃO 4; .....	38
FIG. 60 – CAPOTAMENTO, SOLUÇÃO 4;.....	38
FIG. 61 – EMBATES TOTAIS, SOLUÇÃO 4;.....	38
FIG. 62 – ESFORÇOS SUSPENSÃO, SOLUÇÃO 4;.....	39
FIG. 63 – ESFORÇOS TOTAIS, SOLUÇÃO 4; .....	39
FIG. 64 – TUBAGENS E CARACTERÍSTICAS DOS PRODUTOS VENDIDOS PELA TW PORTUGAL [9]; .....	41
FIG. 65 – TAMANHOS NORMALIZADOS TUBOS DE SECÇÃO RECTANGULAR 4130 [10][11][12];.....	41
FIG. 66 – CHAPA DE LIGA DE AÇO 4130 [13];.....	42
FIG. 67 – TOCHA USADA NO PROCESSO DE SOLDADURA TIG[14]; .....	42
FIG. 68 – ESQUEMA MONTAGEM EQUIPAMENTO NUM PROCESSO DE SOLDADURA TIG [14]; .....	42
FIG. 69 – PARÂMETROS DE REFERÊNCIA NUMA SOLDADURA TIG NUM AÇO 4130 [20];.....	43
FIG. 71 – PREÇO DAS VARETAS DE 10 LB DE METAL DE ADIÇÃO 70S-2 PARA AÇO 4130 [21];.....	44
FIG. 72 – PARÂMETRO DE SOLDADURA PARA O AÇO 4340 [28];.....	44
FIG. 70 – METAL DE ADIÇÃO RECOMENDADO PARA A LIGA AÇO 4130 [20];.....	44
FIG. 73 – ÁRVORE DE PRODUTO DO VEÍCULO; .....	48
FIG. 74 – SERROTE FITA [35]; .....	49
FIG. 75 – CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DO SERROTE DE FITA [36][37]; .....	50
FIG. 76 – MÁQUINA PARA DOBRAGEM DE TUBOS; .....	51
FIG. 77 – MÁQUINA DE SOLDAR TIG [43];.....	52
FIG. 78 – CHAPA DE AÇO 4130 [44]; .....	54
FIG. 79 – CIRCUITO DE <i>SILVERSTONE</i> ONDE SE EFECTUA A <i>FORMULA STUDENT</i> ;.....	62
FIG. 80 – PROJECCÕES ORTOGONAIS DO CHASSIS SOLUÇÃO N.º 1; .....	65
FIG. 81 – PROJECCÕES ORTOGONAIS DO CHASSIS SOLUÇÃO N.º 2. ....	66
FIG. 82 – PROJECCÕES ORTOGONAIS DO CHASSIS SOLUÇÃO N.º 3 .....	67
FIG. 83 – PROJECCÕES ORTOGONAIS DO CHASSIS SOLUÇÃO N.º 4; .....	68
FIG. 84 – CHASSIS USADO NA ORÇAMENTAÇÃO. ....	72

## ÍNDICE DE TABELA:

TABELA 1 – DIMENSÕES MÍNIMAS DA SECÇÃO DE MATERIAL: AÇO CARBONO (MIN. 0,1 % CARBONO); .....	10
TABELA 2 – ESPESSURA MÍNIMA DE PAREDE PARA APLICAÇÃO EM ELEMENTOS TUBULARES EM AÇO; .....	10
TABELA 3 – ESPESSURA MÍNIMA DE APLICAÇÃO PARA ELEMENTOS TUBULARES EM ALUMÍNIO[1]; .....	11
TABELA 4 – DIMENSÕES ANTROPOMÉTRICAS CONSIDERADAS; .....	18
TABELA 5 – CARACTERÍSTICAS DOS MATERIAIS USADOS NO ESTUDO; .....	23
TABELA 6 – CÁLCULOS ANALÍTICOS DE ENSAIO ELEMENTO <i>PIPE16</i> ; .....	27
TABELA 7 – SAÍDAS E ENTRADAS PARA O ELEMENTO <i>PIPE16</i> ; .....	28
TABELA 8 – MASSA DO CHASSIS PARA OS MATERIAIS CONSIDERADOS (TABELA 6), EM ANÁLISES ANTERIORES [5]; .....	30
TABELA 9 – PROPRIEDADES DOS AÇOS AISI 4130 E 4340; .....	31
TABELA 10 – CONSTANTES APLICADAS NO PROGRAMA ANSYS DURANTE AS ANÁLISES; .....	31
TABELA 11 – ESFORÇOS IMPOSTOS PELA SUSPENSÃO; .....	32
TABELA 12 – TOTALIDADE DOS CARREGAMENTOS APLICADOS; .....	32
TABELA 13 – DIMENSÕES NORMALIZADA DE TUBO DE SECÇÃO CIRCULAR, DIÂMETRO EXTERIOR DE 1”;; .....	34
TABELA 14 – RESULTADOS DAS ANÁLISES EFECTUADAS EM ANSYS CHASSIS DE SOLUÇÃO 1; .....	34
TABELA 15 – RESULTADOS DAS ANÁLISES EFECTUADAS EM ANSYS CHASSIS DE SOLUÇÃO 2; .....	35
TABELA 16 – RESULTADOS DAS ANÁLISES EFECTUADAS EM ANSYS DO CHASSIS DE SOLUÇÃO Nº 3; .....	37
TABELA 17 – RESULTADOS DAS ANÁLISES EFECTUADAS EM ANSYS CHASSIS DE SOLUÇÃO 4; .....	38
TABELA 18 – TENSÕES RESULTANTES DAS DIVERSAS ANÁLISES EFECTUADAS ÀS SOLUÇÕES; .....	39
TABELA 19 – MASSAS OBTIDAS NAS ANÁLISES DAS SOLUÇÕES E EM TRABALHO ANTERIOR [5]; .....	40
TABELA 20 – TUBO DE AÇO S/ COSTURA (DIN 2448) [8]; .....	40
TABELA 21 – VOLTAGENS TÍPICAS EM TIG[15]; .....	43
TABELA 22 – ELÉCTRODOS TUNGSTÉNIO RECOMENDADOS NO PROCESSO DE TIG [15]; .....	43
TABELA 23 – TIPOS DE DESCONTINUIDADES EM SOLDADURA [29]; .....	46
TABELA 24 – CUSTO DE ELECTRICIDADE NA FASE DE FABRICO DE CORTE [38]; .....	50
TABELA 25 – CUSTO DE ELÉCTRICO NA FASE DE ENCURVAMENTO; .....	51
TABELA 26 – CUSTO DE ELÉCTRICO NA FASE DE SOLDADURA; .....	51
TABELA 27 – CARACTERÍSTICAS RELEVANTES DO EQUIPAMENTO DE PRODUÇÃO; .....	52
TABELA 28 – CUSTOS EM ELECTRICIDADE NA PRODUÇÃO; .....	53
TABELA 29 – CUSTO DE AMORTIZAÇÃO DO EQUIPAMENTO EM 5 ANOS, MANUTENÇÃO E ALUGUER; .....	53
TABELA 30 – COMPARAÇÃO ENTRE PREÇOS DE TUBOS DE SECÇÃO CIRCULAR: AÇO 4130 vs. 4340 [10][11][12]; .....	53
TABELA 31 – COMPARAÇÃO ENTRE PREÇOS DE TUBOS DE SECÇÃO QUADRADA: AÇO 4130 vs. 4340 [13]; .....	54
TABELA 32 – COMPARAÇÃO PREÇO CHAPA LAMINADA AÇO 4130 COM 4340 [45]; .....	54
TABELA 33 – CUSTO DE MATÉRIA-PRIMA NECESSÁRIA LIGA AÇO 4130 E 4340; .....	55
TABELA 34 – TENSÕES RESULTANTES DAS DIVERSAS ANÁLISES EFECTUADAS ÀS SOLUÇÕES; .....	56
TABELA 35 – MASSAS OBTIDAS NAS ANÁLISES DAS SOLUÇÕES E EM TRABALHO ANTERIOR [5]; .....	56
TABELA 36 – POSICIONAMENTO DOS NÓS PARA A SOLUÇÃO 1 DE CHASSIS (MASSA IGUAL A 90,46 KG); .....	65
TABELA 37 – POSICIONAMENTO DOS NÓS PARA A SOLUÇÃO 2 DE CHASSIS (MASSA IGUAL A 137,66 KG); .....	66
TABELA 38 – POSICIONAMENTO DOS NÓS PARA A SOLUÇÃO 3 DE CHASSIS (MASSA IGUAL A 141,16 KG); .....	67
TABELA 39 – POSICIONAMENTO DOS NÓS PARA A SOLUÇÃO 4 DE CHASSIS (MASSA IGUAL 83,81 KG); .....	68
TABELA 40 – DIMENSÕES DOS ELEMENTOS APLICADOS NO CHASSIS DA SOLUÇÃO 3; .....	69
TABELA 41 – TOTAL METROS LINEARES DE ELEMENTOS; .....	71
TABELA 42 – ÁREA CHAPA PARA REVESTIR O MONO-LUGAR; .....	71
TABELA 43 – POSICIONAMENTO DOS NÓS, OBTIDO ATRAVÉS DAS ANÁLISES ANSYS. ....	72

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a todos aqueles que tornaram possível a elaboração desta tese de dissertação de Mestrado, em especial à Carla Coelho pela paciência e apoio que me transmitiu e também ao meu Orientador Científico, Prof. Doutor Rui F. Martins, pelo apoio demonstrado e pelo facto de continuar a apostar em mim apesar das adversidades.

## **SUMÁRIO:**

O objectivo desta dissertação foi conceber um novo modelo de chassis para um veículo de competição de tipo *Formula Student*.

Foram tidas em consideração as alterações decorrentes da actualização da concepção dos sistemas de transmissão, travagem e suspensão, obtidas em projectos e mestrados realizados recentemente, assim como a alteração das regras da competição relativas à modelação e construção do chassis. A determinação do campo de tensões existente na estrutura foi feita pelo método de elementos finitos (MEF) no programa *ANSYS*.

Fez-se a escolha do material estrutural, a orçamentação da produção do chassis, incluindo o planeamento da produção, o levantamento de equipamento necessário à produção e o planeamento dos ensaios não destrutivos.

## **ABSTRACT:**

*The aim of this dissertation was to conceive and design a new chassis for a Formula Student vehicle type.*

*The changes resulting from the update of the transmission, braking and suspension systems, proposed in the final projects and master's thesis recently completed, as well as the changes in the competition's rules, were considered in the modeling of the new version of the chassis. The stress distribution induced in the structural bars was obtained using the Finite Element Method (FEM) and the computer code ANSYS.*

*Studies about the choice of the materials, budgeting and the planning of the chassis production, together with the definition of the non-destructive tests were also carried out.*

### **DEDICATÓRIAS:**

Desejo dedicar esta dissertação ao meu irmão André Pereira. Que esta dissertação lhe seja um exemplo entre muitos outros que terá disponíveis.



## **I. ANÁLISE E ACTUALIZAÇÃO DAS REGRAS (2009):**

### **A. RESTRIÇÕES GERAIS DA COMPETIÇÃO:**

Das regras da competição, salientam-se neste Capítulo aquelas que são necessárias à concepção e produção do chassis, nomeadamente: as dimensões mínimas dos elementos estruturais e as dimensões dos componentes que determinam a geometria do chassis, tais como: a dimensão do motor, as medidas antropométricas do piloto, as medidas de ancoragem do sistema de suspensão, entre outras.

Dos vários regulamentos da competição *Formula Student*, a grande maioria deles refere-se à segurança do piloto e do veículo [1]:

- Protecção para o piloto (célula de segurança, barreira protecção – *firewall*, arco protecção – *roll hoop*);
- Definição das dimensões mínimas para os elementos que constituem o chassis;
- Definição dos dispositivos de corte que desligam o motor.

De uma forma geral, o veículo deve ser concebido como um *monolugar* aberto e com o mínimo de abertura na zona de protecção do piloto. O carro deve ter uma distância entre eixos de, pelo menos, 1.525 mm (60 in), sendo a distância entre eixos a medida linear compreendida entre o centro de contacto dos pneus dianteiros e traseiros com o chão, tendo todas as rodas alinhadas para a frente. O veículo deve ter apenas, e não menos, de, quatro rodas, que não deverão estar em linha recta (as dianteiras com as traseiras). A menor distância entre vias deve ser, no mínimo, 75% da maior.

A altura do veículo ao solo deve ser suficiente para que o veículo não toque no solo durante a prova dinâmica e o condutor deve estar protegido de uma eventual colisão ou capotamento. Isto requer a existência de dois arcos de protecção (frontal e central): uma protecção frontal com atenuador de impacto e uma protecção lateral.

Apresenta-se em seguida o glossário relativo aos principais termos técnicos envolvidos na concepção e projecto do chassis:

- (A) Arco de Protecção Central** – Arco de protecção ao capotamento (*roll bar*), localizado sobre ou imediatamente a seguir ao tronco do piloto;
- (B) Arco de Protecção Frontal** – Arco de protecção ao capotamento (*roll bar*), localizado por cima das pernas do piloto, na proximidade do volante;
- (C) Elemento Estrutural** – É uma peça única, representativa de um tubo contínuo de secção fechada;
- (D) Chassis** – É constituído pelo conjunto de estruturas soldadas que suportam os sistemas funcionais, ou uma combinação de elementos estruturais de material compósito e estruturas soldadas;
- (E) Estrutura de Segurança** – É composta pelos seguintes elementos:
  - 1) Arco protecção central, 2) Arco protecção frontal, 3) Estrutura de impacto lateral, 4) Apoios dos arcos, 5) Protecção frontal, 6) Suporte da protecção frontal e 7) Todos os elementos

estruturais, guias e suportes que transfiram a carga do sistema de protecção do piloto para os itens 1 até 6;

**(F) Estrutura Principal do Chassis** – É a porção do chassis, interior ao envelope definido pela Estrutura de Segurança. A parte superior do Arco Central, ou os apoios do Arco Central, não estão incluídas nesse envelope;

**(G) Protecção Frontal** – É uma superfície estrutural plana, que define a parte anterior do chassis e funciona como protecção dos pés do piloto;

**(H) Zona de deformação** – É um dispositivo deformável, que absorve a energia de um impacto, localizado anteriormente à protecção frontal (na parte frontal do veículo).

A estrutura de segurança do veículo, com secção tubular, deve ser construída em aço, ou em uma sua liga, contendo um mínimo de 0,1% em carbono, nas dimensões mínimas especificadas nas Tabela 1, 2 e 3.

**Tabela 1 – Dimensões mínimas da secção de material: Aço Carbono (min. 0,1 % Carbono);**

Aplicação	Diâmetro x Espessura
Arco Frontal, Principal e Protecção dos Joelhos;	25,5 mm x 2,50 mm ou 1,0 in (25,4 mm) x 0,095 in (2,4 mm)
Protecções Laterais, frontais, Apoios dos Arcos;	25,0 mm x 1,75 mm ou 25,4 mm x 1,60 mm ou 1,0 in (25,4 mm) x 0,065 in (1,65 mm)
Suporte da Protecção Frontal	1,0 in (25,4 mm) x 0,049 in (1,25 mm) ou 25,0 mm x 1,5 mm ou 26,0 mm x 1,2 mm

**Nota:** A utilização de ligas de aço não permite que a espessura do elemento tubular seja menor que a usada em aço corrente.

Tubagens com diâmetro exterior de acordo com a tabela 1, mas com espessura maior e/ou com espessura de acordo com a tabela, mas com diâmetro exterior superior ao especificado, não são um desvio das regras e não requerem aprovação.

Podem ser usadas geometrias tubulares, assim como materiais ditos alternativos, excepto no arco central e seus apoios, que deverão ser em aço, e em casos especiais que se descrevem adiante. Ou seja, o uso de elementos tubulares em alumínio, titânio, ou materiais compósitos é estritamente proibido na construção do arco central.

Se houver a necessidade de se utilizarem elementos tubulares e materiais alternativos, deverá submeter-se a aprovação tendo em consideração o módulo de *Bukling* do material,  $EI$  (onde,  $E$  = Módulo de Elasticidade, e  $I$  = momento de inércia mínimo, relativo aos seus eixos), que deverá ser equivalente ou maior ao especificado (Tabelas 1 e 2). A tensão de cedência e de rotura, dos materiais alternativos também deverá ser tida em consideração.

Elementos estruturais tubulares em titânio, em que tenha havido processo de soldadura, não poderão ser usados na estrutura principal, incluindo nas uniões de elementos estruturais;

**Tabela 2 – Espessura mínima de parede para aplicação em Elementos Tubulares em Aço;**

Aplicação	Espessura Mínima de Parede
Tubagem para Arco Frontal e Central	2,0 mm (0,079 in)
Tubagem para Apoio dos Arcos e Protecção Frontal	1,6 mm (0,063 in)
Tubagens para Protecção Lateral	1,2 mm (0,047 in)

**Notas:**

- Todos os aços deverão ser tratados de forma igual, não sendo permitido a um perfil tubular, por exemplo AISI 4130, que tenha uma espessura de parede inferior à especificada para aço corrente;
- De forma a manter o  $EI$  com uma espessura inferior ao especificado, o diâmetro exterior deve ser aumentado;
- De forma a manter equivalência quanto à tensão de cedência e tensão de ruptura, a área da secção deverá ser aumentada.

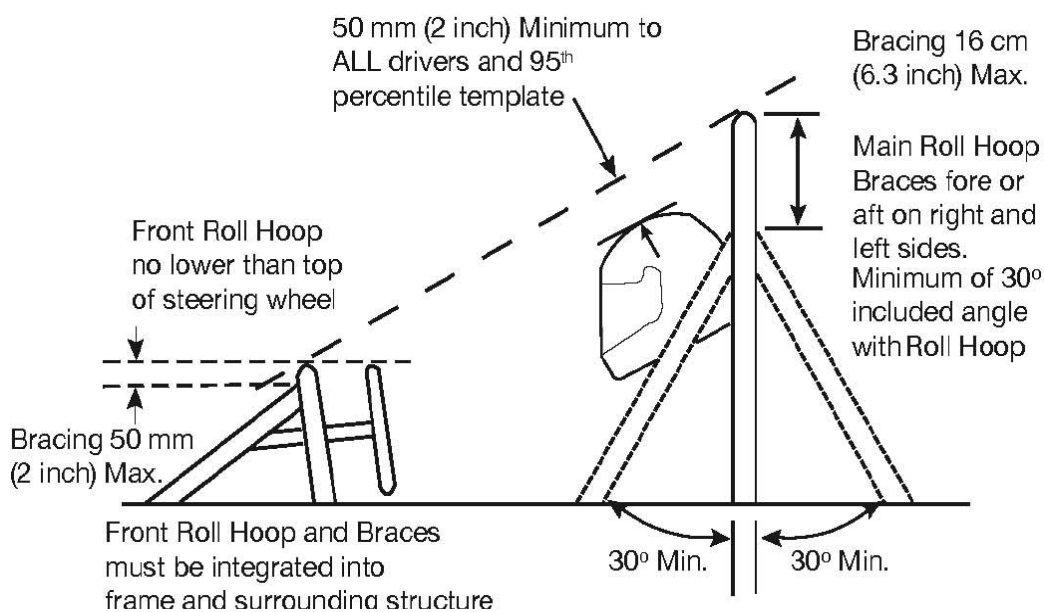
**Tabela 3 – Espessura mínima de aplicação para Elementos Tubulares em Alumínio[1];**

Aplicação	Espessura Mínima de Parede
Elementos Tubulares	3,0 mm (0,118 in)

A tensão de cedência das ligações soldadas em alumínio deve ser considerada em condição “como soldado” ([2] [3]), excepto se for demonstrado e se apresentar prova, em como o chassis foi alvo de tratamento térmico adequado e artificialmente envelhecido, sendo também necessária a descrição do processo e da tecnologia utilizada.

Se for aplicado material compósito, deverá ser apresentada toda a documentação referente ao material, especialmente as suas características mecânicas, detalhes técnicos de compactação usada, tal como o material estruturante usado (tipo de cobertura, peso, tipo de resina, número de camadas, material do núcleo e material de revestimento em caso de metal). Deverá ser demonstrado, através de cálculos, a equivalência da estrutura compósita, com um dos materiais especificados anteriormente. Esses cálculos devem incluir tensões normais e tangenciais em flexão, tracção e compressão, módulo de *buckling* e dissipação de energia. Não é permitido o uso de materiais compósitos no arco central e frontal.

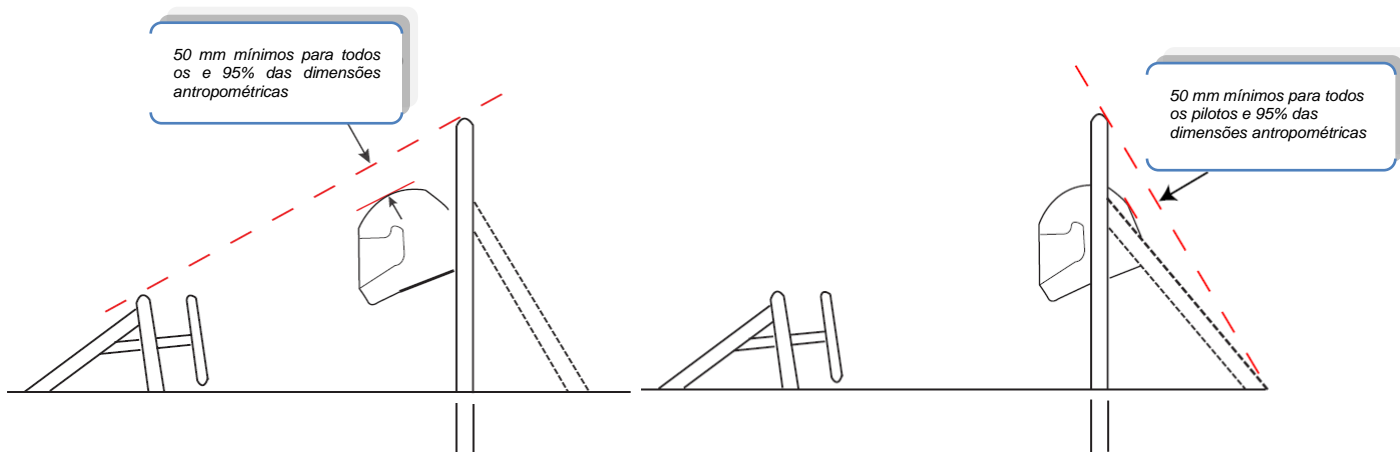
O chassis deve incluir um arco central e um arco frontal, como ilustra a figura 1, de modo a que a cabeça e as mãos do piloto possam estar protegidas do contacto com o solo em caso de capotamento:



**Fig. 1 – Posicionamento do piloto em relação aos arcos de protecção;**

O piloto deverá estar sentado em posição correcta, imobilizado com o sistema de segurança, e com o capacete colocado. Relativamente ao posicionamento do capacete, que deve ter em consideração os dados antropométricos de 95% da população masculina e dos restantes pilotos da competição, deverá cumprir as seguintes restrições:

- Considerando-se uma linha recta imaginária que desce do topo do arco central e passa pelo topo do arco frontal (Fig. 2), esta deverá estar distanciada no mínimo de 50,8 mm (2,0 in) do topo do capacete do piloto;
- Deverá encontrar-se no mínimo a 50,8 mm (2 in) de uma linha recta imaginária com origem no topo do arco central e fim nos apoios de suporte do arco central (Fig. 3);
- Caso o braço de apoio do arco central se encontrar à frente, invés de atrás, o capacete não deverá passar a linha neutra do arco central (Fig. 2).



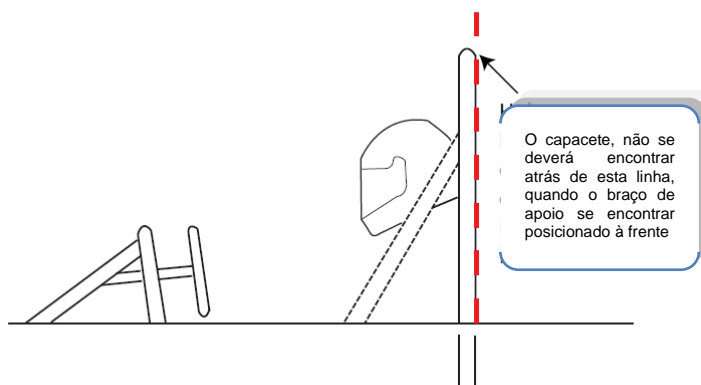
**Fig. 2 – Dimensão Mínima Entre Arco Central e Braço de Apoio;**

Relativamente aos arcos de protecção, o raio mínimo de qualquer curvatura de um tubo, medido na linha central do elemento, deve ser pelo menos três vezes o diâmetro exterior do elemento tubular. A curvatura deve ser suave e contínua, sem sinal de fractura, cortes ou enrugamento do elemento.

Os arcos de protecção central e frontal devem ser integrados no chassis de forma sólida e segura e um furo de 4,5 mm (0,18 in), para inspecção técnica, tem de ser efectuado numa zona não crítica do arco central e frontal, a fim de permitir a verificação da espessura dos dois componentes.

O arco central deve ser construído em uma única peça de elemento tubular contínuo, sem falhas de material, em aço, e deve estender-se da lateral inferior do chassis, subir, passar pelo topo, descer, e finalizar na outra lateral inferior do chassis. Na vista lateral do veículo, a porção do arco central que segue além do ponto de ligação ao chassis deve estar até dez graus com a vertical. Na vista frontal do veículo, os elementos verticais do arco central devem estar separados por uma distância de 380 mm (15 in), dimensão interior, entre os pontos de ligação ao chassis. Em veículos em que a estrutura de segurança não é constituída por elementos tubulares em aço, o arco central deve ser contínuo e estender-se até ao inferior do chassis. O arco central deve estar solidamente integrado à estrutura monolugar usando parafusos M8 de qualidade 8.8 (5/16 in Grade 5) ou superior. Placas de montagem soldadas ao arco central devem ter o mínimo de 2,0 mm (0,080 in) de espessura. Placas de reforço de igual espessura devem estar instaladas em ambos os lados da ligação, impedindo o esmagamento do núcleo da estrutura monolugar. Devem ser incluídos cálculos para demonstrar a validade e a equivalência da montagem a uma estrutura soldada, justificando o número e local das ligações por parafusos.

O arco frontal deve ser construído com elementos tubulares metálicos de secção contínua fechada. O uso de materiais compósitos para o arco frontal é proibido e o arco frontal deve estender-se da lateral inferior do chassis, subir, passar pelo topo, descer, e finalizar na outra lateral inferior do chassis. É permitida a utilização de mais do que um elemento tubular para a fabricação do arco frontal, desde que realizada com a adequada triangulação de esforços e montagem. A superfície mais elevada do arco frontal deve ser superior a qualquer ponto do volante, em qualquer posição angular assumida por este e na vista lateral, o arco frontal não poderá ter uma inclinação com a vertical superior a 20°.



**Fig. 3 – Posição do Capacete Em Relação Ao Arco Central, devido ao braço de apoio;**

Os apoios do arco central devem ser construídos em elementos tubulares de aço, de secção contínua fechada, sendo o uso de ligas de alumínio, titânio, ou materiais compósitos, para os apoios do arco central, proibido. O arco central deve ser suportado por dois apoios que se estendem em ambos os lados do veículo, para a dianteira, ou para a traseira deste. Na vista lateral do chassis, o arco central e os apoios do arco central não se podem sobrepor numa linha vertical que passe pelo topo do arco central, isto é, se o arco central se inclina para a dianteira, os apoios devem estar à sua frente, e se o arco central se inclina para a traseira, os apoios devem estar depois deste. Os apoios do arco central devem estar ligados a um ponto o mais acima possível no arco central, e devem estar a uma distância de não mais de 160 mm (6,3 in) da superfície no topo do arco central. O ângulo formado pelo arco central e os seus apoios não deve ser menor a trinta graus. Os apoios do arco central devem ser boleados, arredondados, livres de qualquer saliência ou protuberância.

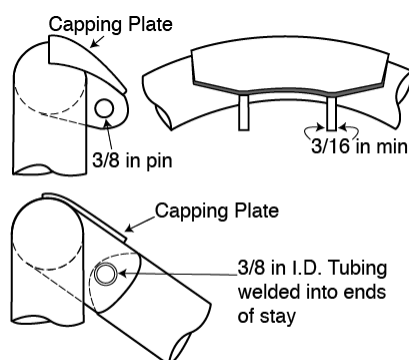
A ligação dos apoios do arco central, não pode comprometer a distância, entre o ponto superior do capacete ao ponto superior do arco central. O método de aperto e suporte da estrutura deve ser capaz de transmitir as cargas aplicadas a eles por aperto sem ceder.

O arco frontal deve ser suportado por dois apoios, que se estendem de uma posição dianteira, de ambos os lados do veículo, até ao arco frontal. Os apoios do arco frontal devem ser construídos de forma a protegerem as pernas do piloto e devem-se estender no chassis até antes dos pés do piloto. Os apoios do arco frontal devem estar ligados o mais próximo possível da superfície superior do arco frontal, e não menos de 50,8 mm (2 in) abaixo desta. A construção em monolugar, usada como apoio do arco frontal, requer uma detalhada documentação de equivalência com as especificações anteriormente referidas nesta secção.

Onde os apoios não estiverem soldados ao chassis, devem estar ligados ao chassis através de parafusos M8 de qualidade 8,8 (5/15 in, Grade 5), ou superior. Placas de montagem soldadas aos apoios dos arcos devem ter uma espessura mínima de 2,0 mm (0,080 in), em aço;

Onde os apoios do Arco Central estiverem ligados a uma estrutura monolugar, devem existir placas de apoio, equivalentes a placas de montagem, de forma a não haver qualquer tipo de evidência de esmagamento do núcleo do material do monolugar. A ligação dos apoios do arco central à estrutura monolugar requer demonstração de equivalência a uma estrutura soldada e deve incluir justificação do número e localização dos parafusos de ligação.

Se houver apoios dos arcos ou outro elemento tubular na lateral do piloto, à altura do pescoço, deve existir um tubo ou placa de metal, seguramente ligada ao chassis, de forma a impedir a possibilidade dos ombros do piloto passarem por baixo desses apoios ou elementos tubulares. O mesmo deve acontecer para impedir o contacto do pescoço do piloto com qualquer elemento.

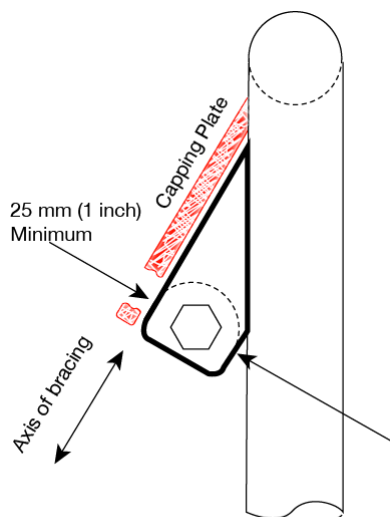


**Fig. 4 – Ligação Dupla;**

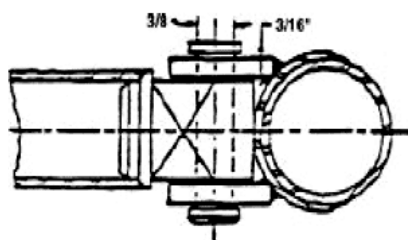
É permitido o uso de apoios amovíveis para os arcos. Qualquer ligação não-permanente deve ser dupla, como mostram as Fig. 4 e Fig. , ou então com uma ligação em manga, visível na Fig. 6. Os parafusos usados para estas ligações não-permanentes são extremamente críticos e devem ser montados com dispositivos de segurança, tais como pinos ou porcas de fecho em nylon. Não é permitido o uso de juntas esféricas;

Nas ligações duplas, cada apoio deve ter no mínimo 4,5 mm (0,177 in) de espessura, medindo no mínimo 25 mm (1,0 in) na perpendicular ao eixo de ligação e deve ser curta e prática ao longo do eixo da ligação. Todas as ligações duplas devem incluir uma capa de protecção (Fig. 4) e ou um duplicador (Fig. ), fabricado em aço com o mínimo de 1,65 mm (0,066 in). Se um duplicador é usado, deve-se estender no mínimo de 120

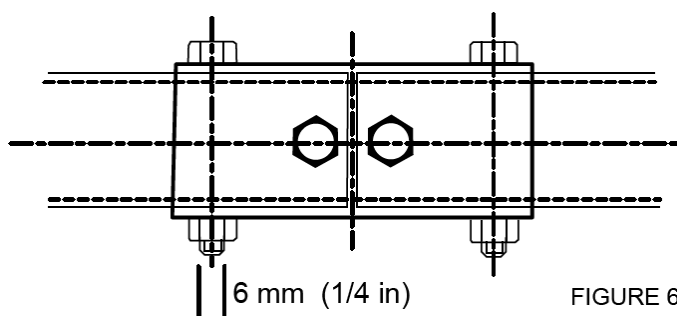




**Fig. 5 – Ligação Em Manga;**



**Fig. 7 – Ligação Em Manga;**



**FIGURE 6**

**Fig. 6 – Ligação Dupla;**

De forma a providenciar protecção para os pés do piloto, estes devem estar contidos na Estrutura Principal do Chassis. Enquanto os pés do piloto estiverem a tocar nos pedais, nenhuma parte dos pés pode sair do envelope da Estrutura Principal do Chassis. Na frente da protecção frontal deve estar montado um atenuador de impactos, que irá absorver a energia de impacto.

A protecção frontal deve ser construída com elementos tubulares contínuos de secção fechada e deve estar localizada anteriormente a todos os objectos não-deformáveis, isto é, baterias, bomba de travões, etc. A protecção frontal deve estar localizada de tal forma que a sola dos pés do piloto, quando tocando mas não aplicando os travões, estão atrás do plano da protecção frontal (este plano é definido pela superfície dos elementos estruturais). Os pedais, se ajustáveis, devem estar na posição mais avançada.

Se usada uma protecção frontal em monolugar, deve ser demonstrado a equivalência a uma estrutura soldada em termos de dissipação de energia, tensão de cedência e ruptura em flexão e corte. A protecção frontal deve estar solidamente integrada no chassis. A protecção frontal deve estar ligada no mínimo por quatro pontos de apoio ao chassis, pontos esses a uma distância mínima de 50,8 mm (2 in) da superfície superior e inferior da protecção lateral. O suporte tem que ter uma triangulação nó a nó, com pelo menos uma braçadeira diagonal para cada lado.

O atenuador de impacto deve estar instalado à frente da protecção frontal e deve ter no mínimo um comprimento de 150 mm (5,9 in) segundo o eixo longitudinal do veículo, para além de uma altura de 100 mm (3,9 in) e uma largura de 200 mm (7,8 in). O atenuador de impacto deve estar seguramente ligado e de forma directa à protecção frontal, de modo a não penetrar dentro desta em caso de impacto. O uso de cola ou de parafusos de tipo *Dzus* é proibido. O atenuador de impactos não deve estar ligado ao veículo devido a ser um elemento não-estrutural do veículo. A ligação do atenuador de impacto tem que ser construída, de modo a obter uma área de distribuição de esforços transversais e carregamentos verticais, no caso de impacto fora do centro e do eixo de impacto.

Todos os objectos indeformáveis, como por exemplo: baterias, bomba de travões, etc., devem estar na zona posterior da protecção frontal. Não devem existir objectos deste tipo na zona do atenuador de impacto.

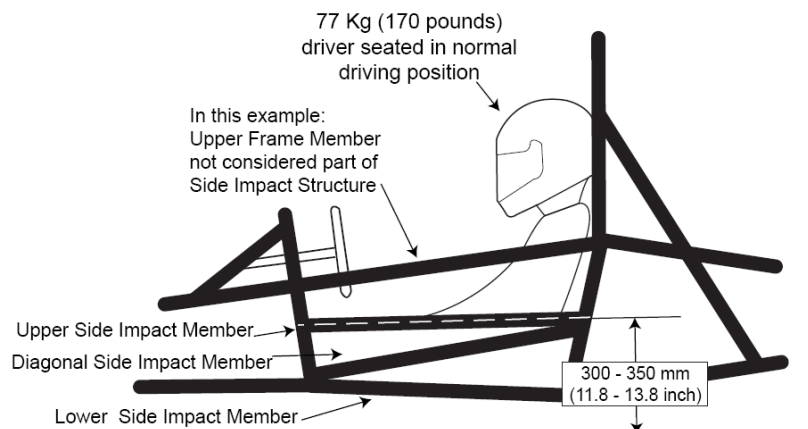
Cada equipa tem de indicar cálculos e/ou dados de testes do seu atenuador de impacto, que quando montado na frente do veículo com massa total de 300 kg e embatendo o veículo contra uma barreira sólida, não destrutiva, com uma velocidade de 7,0 m/s, não poderá conduzir a uma desaceleração média do veículo superior a 20 G.

Não é admissível que se coloque em perigo pessoas devido ao contacto com arestas afiadas na dianteira da carroçaria, ou outros componentes em evidência. Todas as superfícies na dianteira que possam entrar em contacto com pessoas num impacto, ou seja, o nariz da carroçaria, devem ter uma curvatura no mínimo de 38 mm (1,5 in). Este raio mínimo deve-se prolongar pelos menos até 45 graus, relativos à direcção frontal, ao longo de todas as superfícies.

O piloto deve estar protegido de qualquer colisão lateral, enquanto sentado normalmente na sua posição de condução. Os requisitos para essa protecção são indicados em seguida.

- a) A protecção lateral de impacto deve ser composta por três elementos tubulares em cada lado do piloto, enquanto na posição normal de condução, como visível na Fig. 8. O elemento superior da protecção lateral de impacto deve ligar o arco central ao arco frontal a uma altura entre 300 mm (11,8 in) e 350 mm (13,8 in) do solo, com um piloto de 77 kg sentado na sua posição normal de condução. Se o chassis tiver um elemento estrutural que cumpra em termos de altura, diâmetro e espessura os requisitos anteriores, não deve ser considerado este ponto;
- b) O elemento inferior da protecção lateral de impacto deve ligar o inferior do arco central ao inferior do arco frontal. Se o chassis tiver um elemento estrutural que cumpra em termos de altura, diâmetro e espessura os requisitos anteriores, não deve ser considerado este ponto;
- c) O elemento diagonal da protecção lateral de impacto deve ligar os elementos inferior e superior da protecção lateral de impacto antes do arco central e depois do arco frontal. Com triangulação eficaz, é permitido a fabricação deste com mais de um elemento tubular. Geometria alternativa que não cumpra o referido nesta secção deve apresentar a documentação necessária.

As propriedades de secção das laterais do veículo devem reflectir as considerações referentes aos impactos. Corpos não estruturais ou revestimentos não são adequados, já que falham os requisitos necessários para protecções laterais de impacto. Estruturas monolugar devem ser acompanhadas de informação que incluirá: tipo de cobertura, peso, tipo de resina, número de camadas e material do núcleo.



**Fig. 8 – Protecção estrutural ao piloto;**

Os locais de apoio do chassis, mais conhecidos como locais de aplicação de macaco, de forma a levantar o veículo, devem existir na traseira do veículo. Os locais de apoio devem ser orientados horizontalmente e perpendiculares à linha longitudinal do veículo, feitos em tubo de aço ou

alumínio de 25,4 mm (1,0 in) de diâmetro, com um mínimo de 300 mm (11,8 in) de comprimento e expostos em cerca de 180° numa distância mínima de 280mm (11 in).

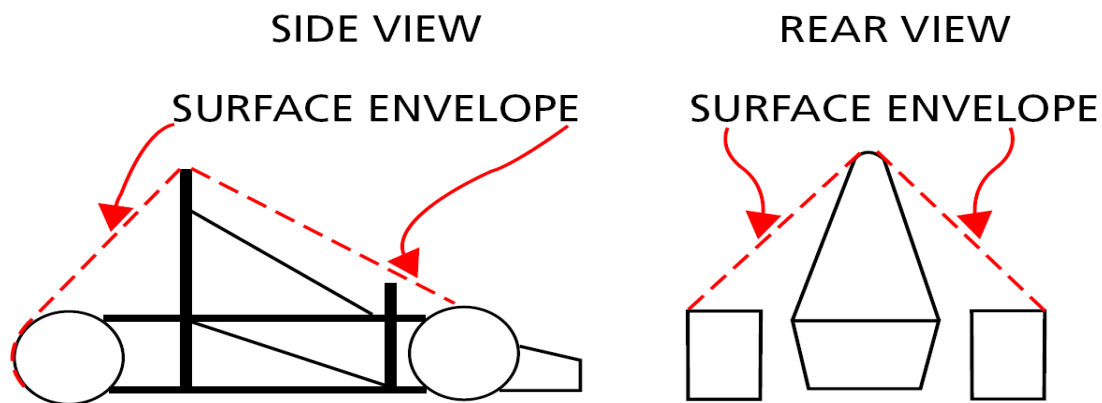
A altura do tubo deve ser tal que existe um mínimo de 75 mm (3 in) de distância do tubo ao solo e que com o tubo a 200mm (7,9 in) do solo, as rodas não tocam no solo.

Quanto à visibilidade do piloto, este tem que ter uma adequada visibilidade para a frente e laterais do veículo. O piloto sentado em posição normal de condução, tem que ter um campo visual de 200° (um mínimo de 100° para cada lado).

Todos os veículos têm que ter uma superfície inferior composta por um ou mais painéis. Esta superfície tem como função a separação do piloto com o pavimento. Os painéis não podem exceder os 3 mm (1/8 in) de espessura. A superfície tem que cobrir desde os pés do piloto até à barreira de fogo. Os painéis têm que ser de material sólido e não frágil. A barreira de protecção ao fogo tem que separar o compartimento do piloto de todos os componentes referentes ao sistema de combustível, óleo e líquido de refrigeração; tem que proteger até ao pescoço do piloto e a barreira tem de ser construída em material resistente ao fogo.

O veículo não pode capotar quando sofrer uma força normal ao plano do veículo, de 1,7G, quando estiver inclinado de um ângulo de 60° com a horizontal. Este teste deverá ser realizado com o piloto mais alto, na posição normal de condução.

Todos os componentes de armazenagem de combustível, o sistema de admissão, e todos os componentes do ar no motor e sistemas de controlo do combustível (incluindo os injectores ou carburadores, assim como o sistema completo de entrada de ar, filtros e caixas de ar) têm que permanecer dentro do envelope definido pelo ponto superior da *roll bar* e o bordo exterior dos quatro pneus (ver Fig. 9).



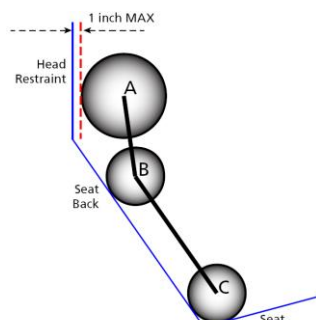
**Fig. 9 – Envelope do veículo;**

Um resumo introdutório à competição encontra-se nos anexos, assim como demais regras não tão importantes a esta dissertação.



## II. ESTUDO ANTROPOMÉTRICO:

Sendo o veículo projectado um monologar, as dimensões do condutor são características fulcrais para a definição do tamanho do veículo. Através das regras da competição define-se obtém-se as seguintes dimensões antropométricas do piloto [1].



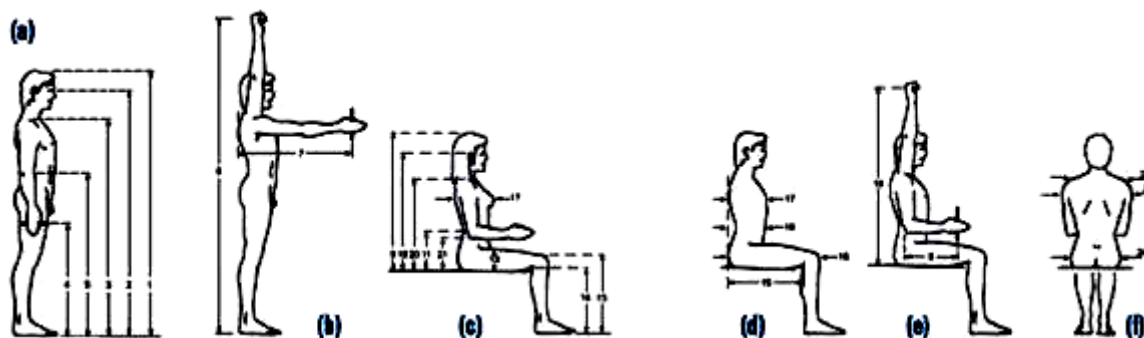
**Fig. 10 – Dimensões Antropométricas de 95% dos Indivíduos;**

- Um círculo **C** de 200 mm (7,87 in) de diâmetro irá representar a ancas;
- Um círculo **B** de 200 mm (7,87 in) de diâmetro irá representar a zona cervical e ombros;
- Um círculo **A** de 300 mm (11,81 in) de diâmetro irá representar a cabeça com capacete;
- Uma linha recta **B-C** medindo 490 mm (19,29 in) irá ligar o centro dos círculos de 200 mm (7,87 in);
- Uma linha recta **A-B** medindo 280 mm (11,02 in) irá ligar o centro do círculo de 300 mm (11,81 in) com o círculo superior de 200 mm (7,87 in).

O posicionamento do piloto no assento é definido com o assento ajustado o mais atrás possível. O círculo inferior de 200 mm (7,87 in) tocará o assento e o círculo superior de 200 mm (7,87 in), representando os ombros, irá ser posicionado nas costas do assento. O círculo de 300 mm (11,81 in) irá ser posicionado até à distância de 25,4 mm (1,0 in) do apoio da cabeça do assento (na posição normalmente assumida pelo cabeça/capacete do piloto quando em condução) (Fig. 8).

Seguidamente procedeu-se ao estudo do volume originado pelo piloto do veículo através de dados estatísticos da população trabalhadora portuguesa [4], dado que ainda não se conhece as dimensões do piloto. Optou-se por escolher para as dimensões antropométricas da população referentes a percentil 95 da amostra considerada, com o objectivo das dimensões do chassis poderem ser o mais abrangente, em termos das dimensões dos futuros pilotos do veículo.

Na Fig. 11 e na Tabela 4 encontram-se a descrição das dimensões antropométricas que formam obtidas e as respectivas posições de medição, para uma amostra da população trabalhadora de 492 homens trabalhadores de várias empresas industriais e alguns trabalhadores do sector terciário [4].



**Fig. 11 – Esquema representativo das 24 dimensões antropométricas consideradas no estudo;**

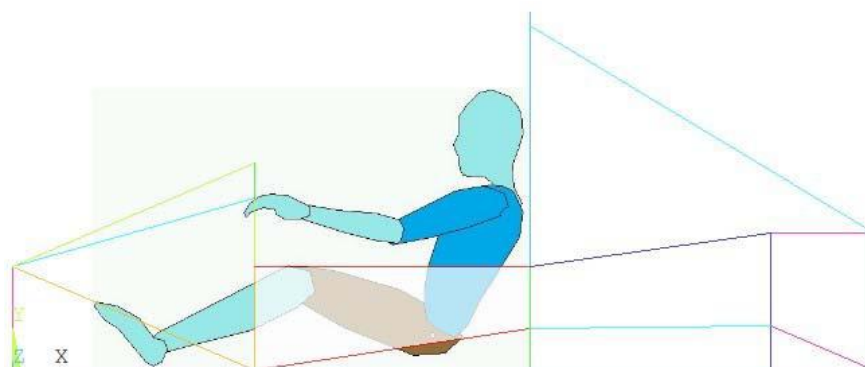
**Tabela 4 – Dimensões antropométricas consideradas;**

Dimensões	
01	Estatura
02	Altura dos olhos
03	Altura do ombro
04	Altura do punho
05	Altura do cotovelo
06	Distância cotovelo-punho
07	Alcance funcional anterior
08	Alcance funcional vertical (de pé)
09	Altura sentado
10	Altura dos olhos (relação ao assento)
11	Altura lombar (relação ao assento)
12	Espessura máxima da coxa
13	Altura do joelho
14	Altura do popliteo
15	Comprimento coxa-popliteo
16	Comprimento máximo da coxa
17	Espessura do peito
18	Espessura abdominal
19	Alcance funcional vertical (sentado)
20	Distância ombro-assento
21	Distância cotovelo-assento
22	Largura de ombros (biacromial)
23	Largura de ombros (bideitoide)
24	Largura das ancas
25	Peso (kg)

Média (M), desvio-padrão (DP) e percentagem dos dados antropométricos da população masculina (n=492);

Dimensões	M	DP	1.º percentil	5.º percentil	95.º percentil	99.º percentil
Estatura	1.690	76	1.514	1.566	1.814	1.866
Altura dos olhos	1.585	74	1.412	1.463	1.707	1.758
Altura do ombro	1.395	65	1.245	1.289	1.501	1.545
Altura do punho	735	43	635	664	806	835
Altura do cotovelo	1.050	51	931	966	1.134	1.169
Distância cotovelo-punho	350	18	308	320	380	392
Alcance funcional anterior	730	62	584	627	833	876
Alcance funcional vertical (de pé)	2.030	94	1.810	1.875	2.185	2.250
Altura sentado	920	37	833	859	981	1.007
Altura dos olhos (relação ao assento)	810	34	730	754	866	890
Altura lombar (relação ao assento)	215	20	169	183	247	261
Espessura máxima da coxa	175	17	134	146	204	216
Altura do joelho	525	30	455	475	575	595
Altura do popliteo	400	26	341	358	442	459
Comprimento coxa-popliteo	485	32	410	432	538	560
Comprimento máximo da coxa	590	33	513	536	644	667
Espessura do peito	265	23	211	227	303	319
Espessura abdominal	265	32	191	213	317	339
Alcance funcional vertical (sentado)	1.250	55	1.123	1.160	1.340	1.377
Distância ombro-assento	630	33	552	575	685	708
Distância cotovelo-assento	255	30	185	206	304	325
Largura de ombros (biacromial)	335	22	284	299	371	386
Largura de ombros (bideitoide)	475	30	404	425	525	546
Largura das ancas	380	24	323	340	420	437
Peso (kg)	74	11	48	56	92	100

Estes elementos permitiram a definição preliminar das cotas de envelope do veículo em volta do piloto, permitindo a elaboração do esboço do chassis apresentado na Fig. 12.



**Fig. 12 – Esboço do Chassis com base nas dimensões antropométricas [4];**

### III. OPTIMIZAÇÃO ESTRUTURAL:

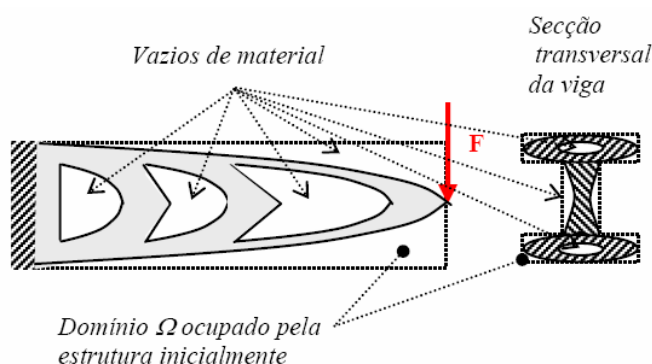
Tendo o projecto de um chassis para a competição *Formula Student* regras muito restritivas, encontra-se direccionado de antemão para uma determinada forma. Sendo possível o uso de um chassis monolugar fechado, composto por chapas de metal ou materiais compósitos, por questões de peso, económicas e de optimização estrutural é racional a aplicação de elementos tubulares na sua construção. Desta forma, torna-se habitual que a estrutura básica dos elementos estruturais da maior parte da competição seja similar.

No processo de concepção de um chassis existe necessidade de se otimizar a estrutura, tentando atingir uma economia de material, com consequência na redução dos custos e peso, mantendo-se dentro dos padrões de resistência necessários à segurança do piloto, equipamento e resistência às solicitações aplicadas.

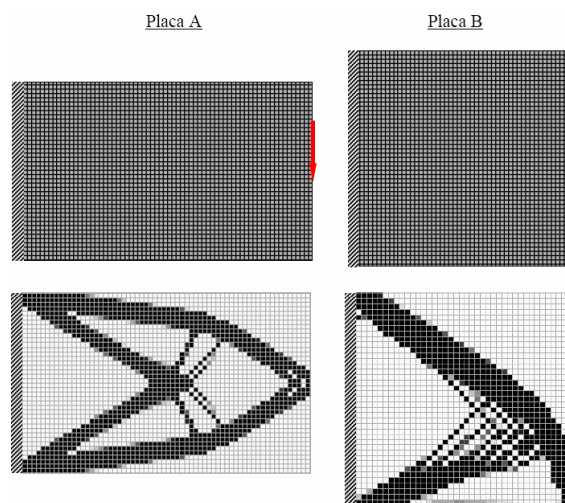
No processo de optimização topológica, pretendeu-se utilizar um programa de computador que utilizasse o método de elementos finitos para resolver o problema estrutural imposto e que permitisse atingir uma estrutura base passível de ser optimizada, à *posteriori*, por intermédio da optimização de forma dos perfis tubulares em função das suas dimensões (diâmetro e espessura).

#### A. OPTIMIZAÇÃO TOPOLÓGICA

A optimização topológica é aplicada quando o projectista não tem uma ideia muito precisa quanto à geometria e posição que os elementos estruturais deverão ter. O programa, após resolver o problema estrutural, realiza uma análise de optimização topológica onde determina a densidade do material que deverá existir numa área para resistir às solicitações e constrangimentos estruturais impostos. Se a densidade apresentar um valor próximo da unidade, então esse elemento é de importância fundamental para a estrutura. Se for próximo do valor zero, então sobre esse elemento não está aplicada uma tensão significativa e não é de importância fulcral para a estrutura. Assim, em termos visuais, obtém-se uma imagem dos elementos mais importantes para a estrutura, e dos menos importantes, que representam uma zona de vazio (Fig. 13).



**Fig. 13 – Exemplo de optimização topológica de uma viga em consola, em duas dimensões, sujeita a uma força vertical;**



**Fig. 14 – Exemplo de optimização estrutural bi-dimensional, utilizando software de optimização;**

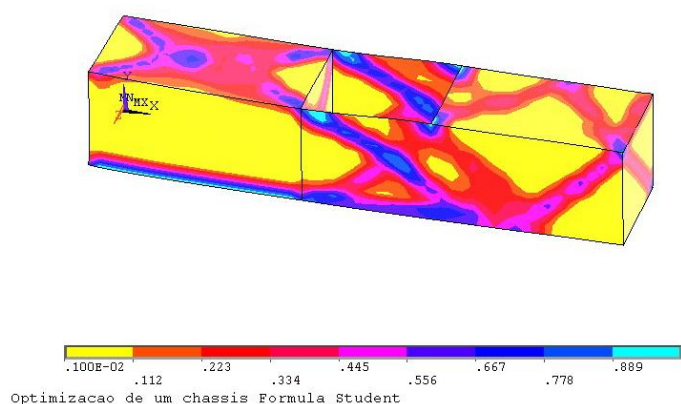
## **B. CÁLCULOS PRELIMINARES:**

Tendo em consideração os princípios da optimização topológica, definiu-se um paralelepípedo em bruto contendo o envelope do veículo, sobre a qual se realizou uma primeira abordagem sobre a optimização estrutural do chassis (Fig. 15).

Pretendeu-se permitir que o programa de elementos finitos, depois de calcular o problema estrutural imposto, chegasse a uma distribuição de densidades do material que fundamentasse uma ideia ou uma concepção da estrutura do chassis. Através da localização nas zonas mais solicitadas de maior densidade de material, podendo-se assim chegar a um posicionamento inicial dos elementos estruturais.

Através de valores padrão [5], foram definidas as solicitações aplicadas ao chassis. O chassis deverá suportar o peso próprio, os embates laterais e frontais e torção provocada pelas solicitações da suspensão. Os valores padrão utilizados foram 5G's, 5G's e 2G's, respectivamente. Para torção admitiu-se um valor de torção máximo de 5° (0,087 rad).

O resultado obtido pode ser observado na seguinte figura:



**Fig. 15 – Um dos primeiros resultados de optimização do chassis;**

Este resultado permitiu obter o posicionamento preliminar dos elementos estruturais o que resultou na primeira modelação. Denota-se alguns cruzamentos de elementos e o reforço de elementos na zona envolvente ao posicionamento do piloto.



## IV. DEFINIÇÃO DE UMA ESTRUTURA PRELIMINAR PARA O CHASSIS ATRAVÉS DA ANÁLISE TOPOLÓGICA:

Antes de se efectuar a modelação da estrutura treliçada do chassis, fez-se uma análise topológica da estrutura inicial do chassis no programa *ANSYS*, recorrendo a um elemento finito de tipo casca, *SHELL93*, com espessura de 25,4 mm. As solicitações que se consideraram relevantes para este estudo foram as seguintes:

1. Embate frontal (10G) –  $F_1$ ;
2. Embate lateral (10G) a meio do veículo -  $F_2$ ;
3. Capotamento com aplicação (10G) no arco de protecção -  $F_3$ ;
4. Compressão da suspensão nos pontos de ancoragem superiores do chassis (5G) e tracção da suspensão nos pontos de ancoragem inferiores do chassis (5G);
5. Peso do motor (75 kg) e peso do piloto (75 kg), ou soma dos dois (150 kg) aplicado no provável centro de massa;
6. Aplicação de uma torção no chassis, provocada por um impacto numa roda (5G).

O elemento *SHELL93* pode ser utilizado para modelar geometrias de casca com curvatura. Tem seis graus de liberdade em cada nó, com translações nas direcções nodais de x, y, e z, e rotações nos eixos nodais x, y e z (Fig. 16, Fig. 17). Os polinómios interpoladores responsáveis pela forma de deformação são quadráticos em ambas as direcções planas e o elemento finito em questão pode incorporar plasticidade, encruamento e grandes deformadas.

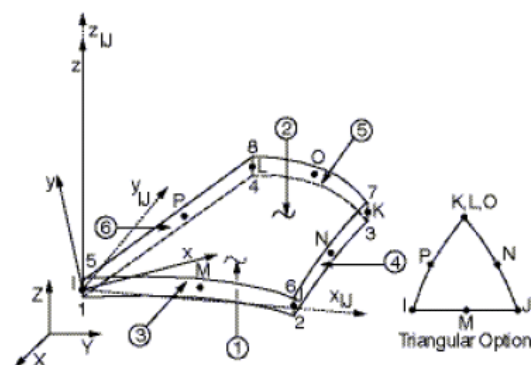


Fig. 16 – Geometria Do Elemento De *ANSYS SHELL93*;

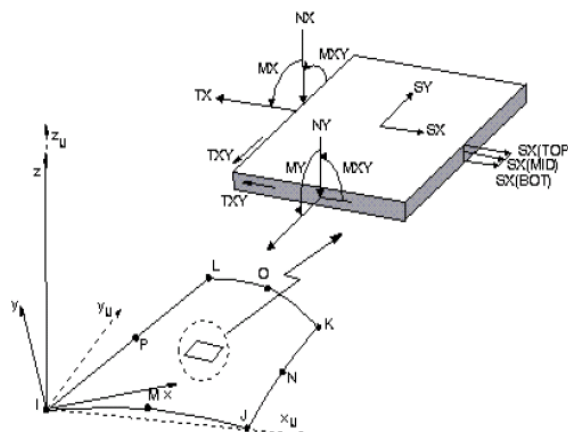
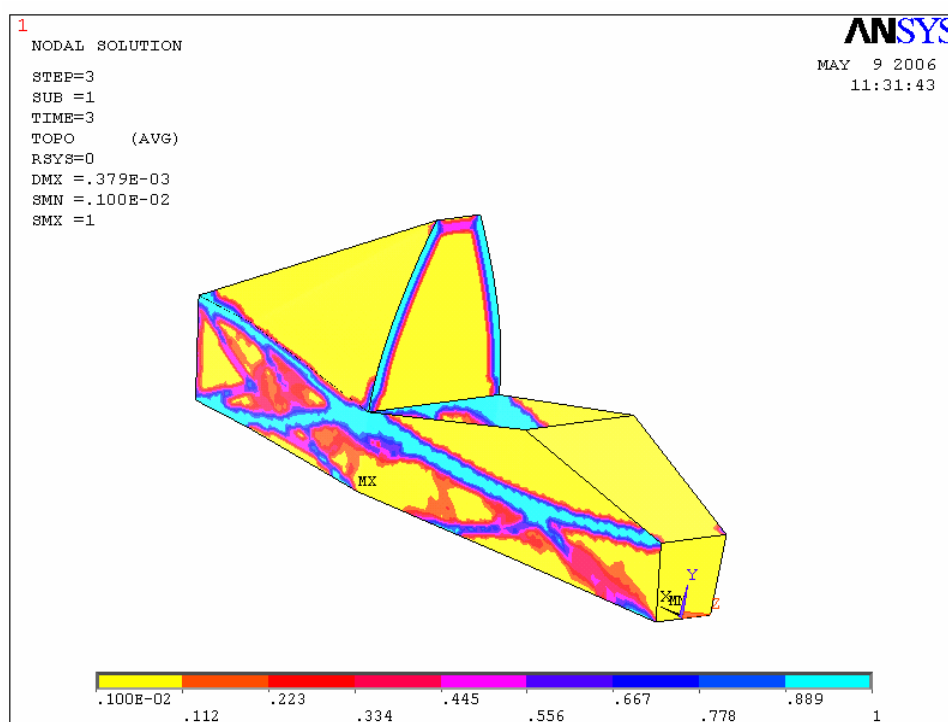


Fig. 17 – Tensões de saída do elemento de *ANSYS PIPE16*;

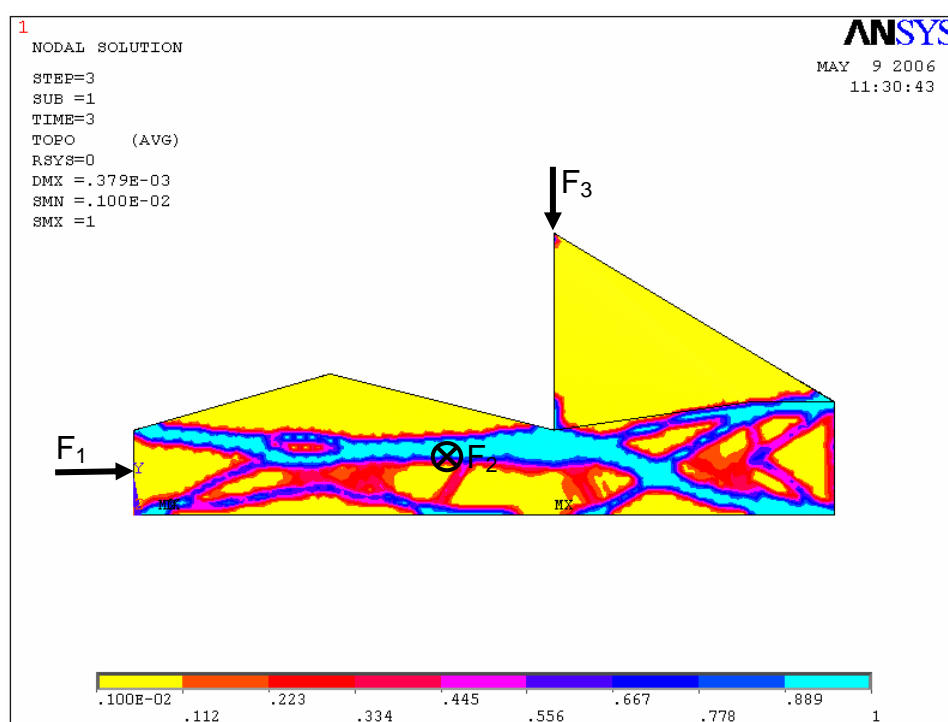
O elemento é definido por oito nós, até quatro espessuras, e pode ter propriedades ortotrópicas. Os nós intermédios não podem ser removidos, mas pode-se formar elementos triangulares pela definição dos mesmos números de nós, para os nós correspondentes K, L e O (Fig. 16).

A malha aplicada é de características livres (*free*) e rectangular com um *E SIZE* de 0,025 m, de tipo 1.

Os dados de saída após os cálculos são os deslocamentos nodais, incluídos na solução nodal geral, e as tensões associadas aos respectivos carregamentos.



**Fig. 18 – Resultados obtidos em análise topológica (vista em perspectiva);**



**Fig. 19 – Resultados obtidos em análise topológica (vista lateral) e posicionamento dos carregamentos de embate impostos;**

As Fig. 18 e Fig. 19 correspondem à solução encontrada através da análise topológica, para o posicionamento de barras ou material, para o determinado espaço ocupado pelo chassis. Verifica-se que está de acordo com algumas das recomendações enunciadas nas regras da competição e com as soluções apresentadas pelas equipas que participam na competição e que são também fruto da experiência da competição e da produção de chassis.

## V. MATERIAIS:

Dentro dos materiais habitualmente utilizados na indústria, foram estudados vários materiais para a construção dos elementos tubulares e estruturais que constituem o chassis (Tabela 5). De entre a grande panóplia de materiais disponíveis, optou-se por aqueles que são frequentemente aplicados em chassis de bicicletas, equipamentos aeronáuticos e veículos de competição. As propriedades mecânicas indicadas na Tabela 6 foram retiradas de [6].

**Tabela 5 – Características dos Materiais Usados no Estudo;**

Material Propriedades	Alumínio					Aço	
	2024	6061-T4	6061-T6	6082-T6	7075	4130	4340
Tensão de Cedência [MPa]	455	145	276	250	503	435	1145
Tensão de Ruptura [MPa]	483	241	310	290	572	670	1207
Coefficiente de Poisson	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,29	0,29
Densidade [Kg/m <sup>3</sup> ]	2780	2700	2700	2700	2810	7850	7850
Modulo de Elasticidade [GPa]	73,1	68,9	68,9	70	71,7	205	205

A liga de alumínio **2024** é frequentemente utilizada em jantes de camiões, estruturas aeronáuticas, parafusos, equipamentos de veterinária e científicos, ortopedia e rebites. A soldadura não é recomendada neste material, sendo necessário tratamento térmico de envelhecimento.

A liga de alumínio **7075** é usada em construção aeronáutica e em aplicações aeroespaciais. A soldadura não é recomendada neste material, sendo também necessário tratamento térmico de envelhecimento para recuperação das propriedades mecânicas máximas.

A liga de alumínio **6061** com tratamentos térmicos **T4** e **T6** é normalmente usada em estruturas de camiões, componentes navais, comboios, estruturas e gasodutos, apresentando uma boa resistência à corrosão. A liga tem muito boa soldabilidade e pode ser soldado por qualquer das técnicas mais comuns.

A liga **6082** tem aplicações em estruturas sujeitas a grandes tensões como sejam suportes, pontes, guindastes e é também aplicada na indústria dos transportes. Apresenta uma boa soldabilidade, mas com uma fraca resistência na zona afectada termicamente, sendo necessário tratamento térmico posterior.

O aço ligado com a designação AISI **4130**, de qualidade aeronáutica, é utilizado para uso corrente em montagens de motores de aviões e aplicações soldadas em tubagens. Pode ser soldada por todos os métodos comerciais.

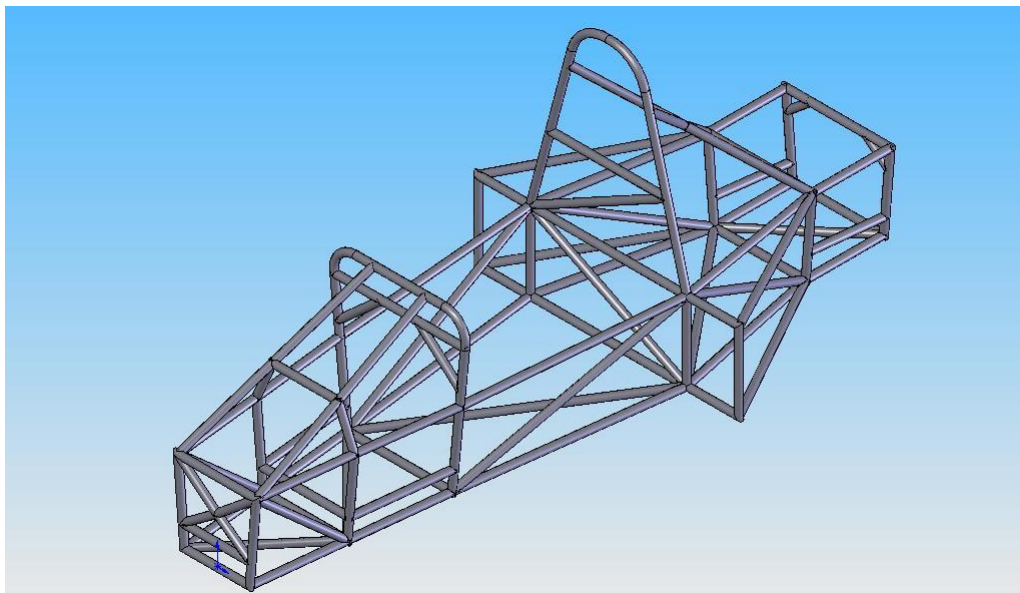
A liga AISI **4340** é tipicamente utilizada em várias estruturas aeronáuticas, como em outros componentes estruturais. Esta liga em aço pode ser soldada por qualquer processo de fusão ou por resistência.

Por uma questão económica, de fiabilidade estrutural e pelo facto de requerer pouca manutenção após provas dinâmicas, optou-se por efectuar as análises numéricas no programa de elementos finitos apenas nas ligas de aço anteriormente descritas.

Considerando que o processo de soldadura TIG é aquele que resulta em condições de melhor qualidade dos cordões de soldadura, descreve-se adiante o processo de soldadura TIG e as suas principais propriedades.

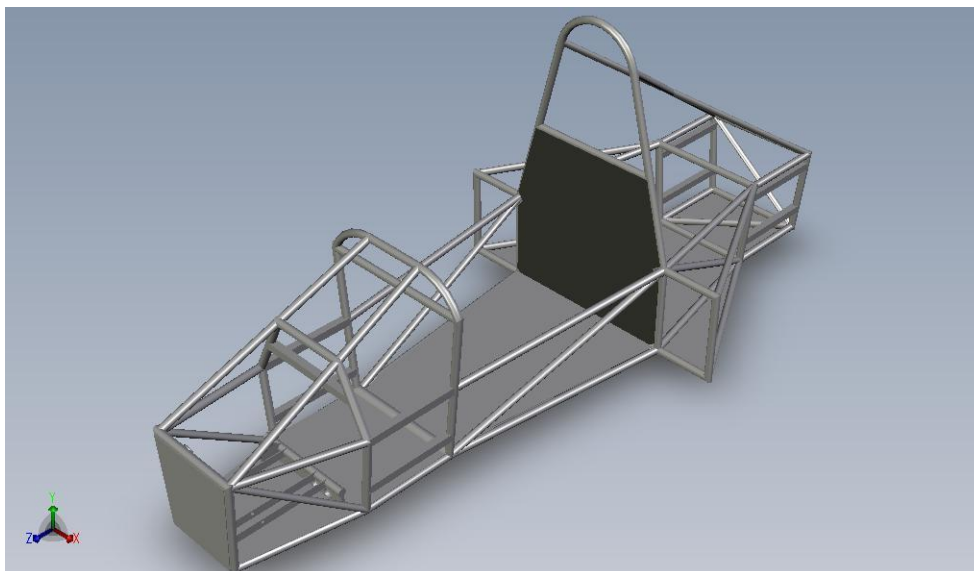
## VI. MODELAÇÃO EM *SOLIDWORKS*:

Com o objectivo inicial de efectuar análises numéricas no programa *CosmosWorks*, efectuou-se a modelação tridimensional do chassis em *SolidWorks* (Figs.20 e 21), o qual foi posteriormente estudado em *Ansys Workbench* e em *Ansys Multiphysics*.



**Fig. 20 – Modelação do Chassis 2008, 1.<sup>a</sup> versão;**

Tendo em consideração os resultados incluídos em [7], realizou-se a modelação 3D do chassis indicada na Fig.21, a qual serviu para se retirar as coordenadas de posicionamento dos nós e dos elementos utilizados durante a análise pelo Método dos Elementos Finitos.



**Fig. 21 – Modelação do Chassis 2009, versão obtida;**

Optou-se por efectuar as análises pelo Método dos Elementos Finitos apenas através do programa *ANSYS Multiphysics*, pois encontrou-se grandes dificuldades em efectuar análises no programa *CosmosWorks*, dado que este requeria grandes recursos a nível de memória de computador e da placa gráfica (a espessura da parede era muito pequena quando comparada com as restantes dimensões).

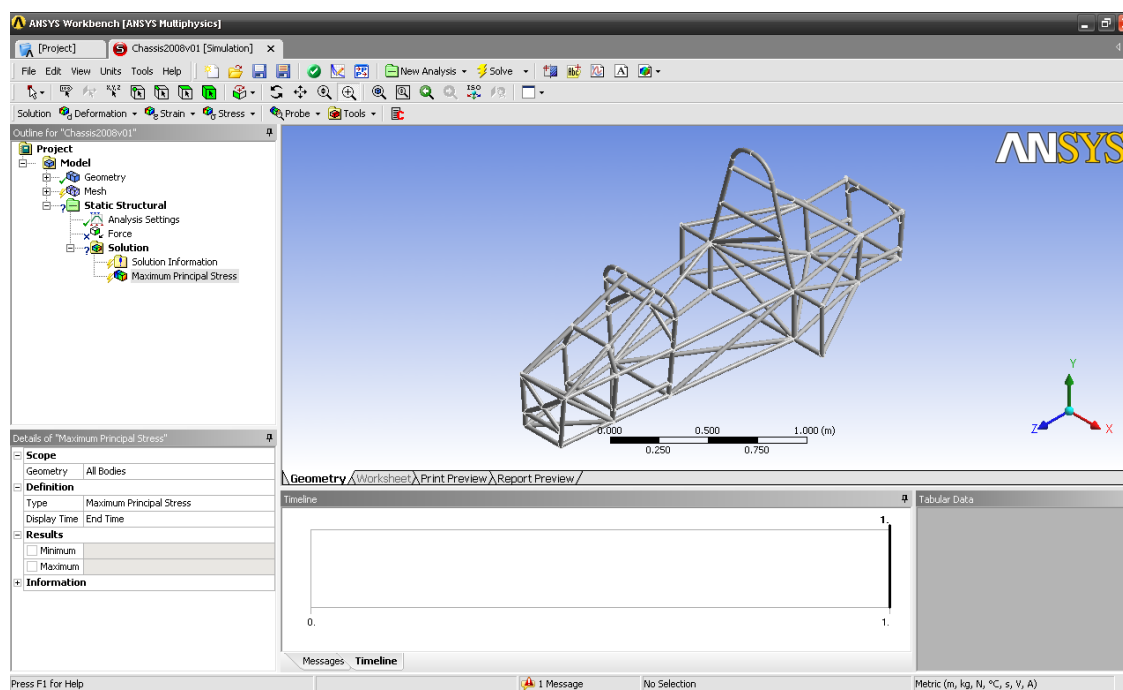


## VII. ANÁLISE DO CHASSIS EM ANSYS:

O procedimento usado no software *ANSYS* para a análise numérica do chassis, comum às diversas análises efectuadas, variando apenas as características do material estudado, é composto por nove passos:

- Inicialização, definição do tipo de estudo;
- Especificação do(s) tipo(s) de elemento(s) e constantes reais;
- Especificação das propriedades do material;
- Especificação da geometria;
- Especificação das condições de fronteira e dos carregamentos;
- Resolução do problema;
- Resultados de pós-processamento;
- Validação dos resultados.

Os elementos usados na análise por elementos finitos no programa *ANSYS* foram elementos tubulares com a denominação *PIPE16* para os elementos rectilíneos de secção circular, de *PIPE18* para os elementos com curvatura de secção circular, e o *BEAM 4* para elemento rectilíneo de secção quadrada.



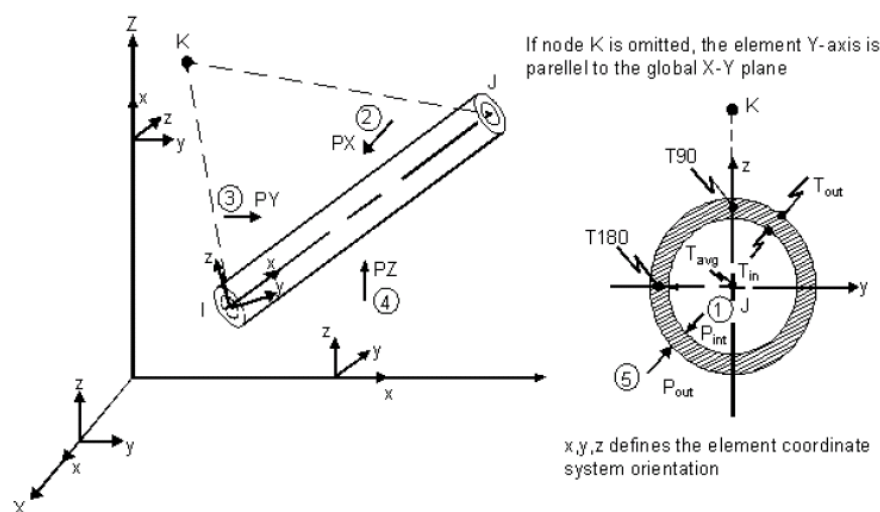
**Fig. 22 – Análise do Chassis 2008 V01 Através do ANSYS Workbench;**

O elemento *PIPE16* (Fig. 23) é um elemento uniaxial com capacidade para resistir a carregamentos de tracção-compressão, torção, e com capacidades de flexão. O elemento tem seis graus de liberdade e dois nós, com translações nas direcções nodais x, y, e z, e rotação nos eixos x, y, e z. Este elemento é baseado no elemento viga 3D (*BEAM4*) e inclui simplificações através da simetria e uma geometria de tubagem padrão.

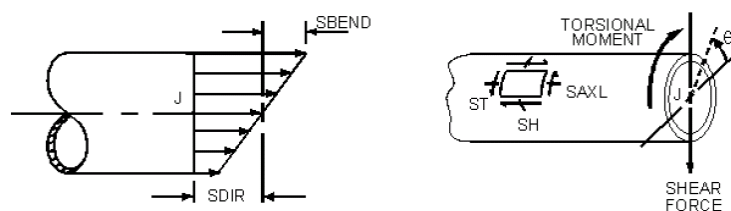
O elemento *BEAM4* é um elemento uniaxial com tensões de compressão e capacidade de flexão, com 6 graus de liberdade, tal como o elemento *PIPE16*.

Os dados requeridos, ou entradas, para este elemento são constantes reais, que correspondem ao seu diâmetro exterior, à espessura da parede do tubo, valores de concentração de tensões, entre outras constantes direccionadas para área de dinâmica dos fluidos.

Como dados de saída os relatórios são compostos pelos esforços nodais da solução total nodal. As tensões principais e a intensidade de tensão não incluem a componente da tensão correspondente à força de corte.

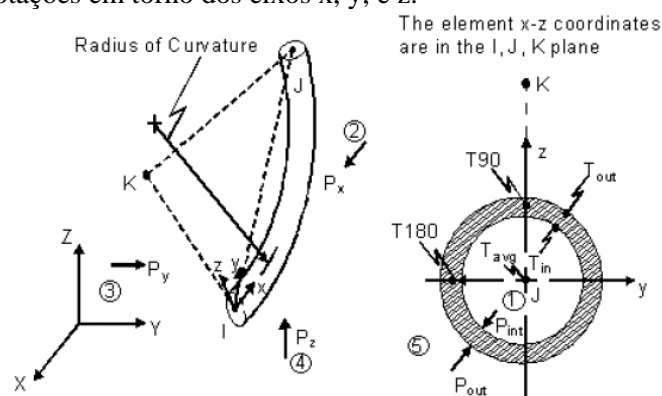


**Fig. 23 – Geometria do elemento de ANSYS PIPE16;**



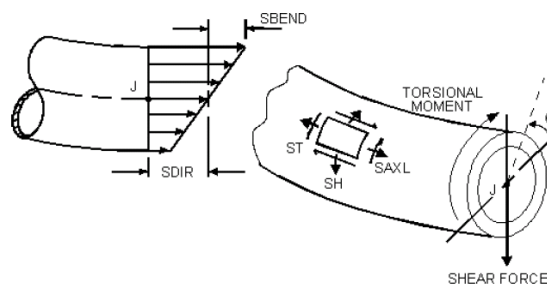
**Fig. 24 – Tensões de saída do elemento de ANSYS PIPE16**

O elemento *PIPE18* é um elemento circular uni-axial com capacidade de tracção/compressão, torção e flexão. Este elemento tem 6 graus de liberdade em cada nó, com translação nas direcções nodais de x, y e z e rotações em torno dos eixos x, y, e z.



**Fig. 25 – Geometria do elemento de ANSYS PIPE18;**

Os dados de entrada deste elemento incluem três nós (dois extremos e o centro de curvatura), diâmetro externo, espessura da parede, raio de curvatura, factores de concentração de tensões, factores de flexibilidade e propriedades isotrópicas do material, entre outras constantes direccionadas para a análise de dinâmica de fluidos. Os dados de saída são as habituais tensões e deformações.



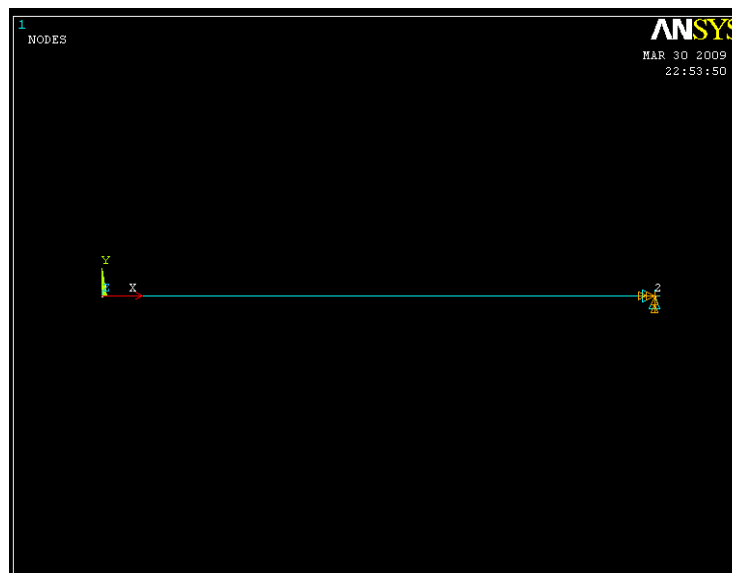
**Fig. 26 – Tensões de saída do elemento de ANSYS PIPE18;**

### **Validação da utilização do Elemento PIPE16:**

De forma a validar as soluções obtidas por via numérica, correspondentes aos elementos finitos usados, efectuou-se um pequeno ensaio com uma barra encastrada numa extremidade e livre na extremidade oposta, na qual se aplicou uma força de compressão de 20 kN (Fig. 27). Os dados da análise, relativos à área da secção resistente,  $A$ , ao comprimento da barra,  $L$ , tensão analítica calculada ( $\sigma$ ) e “alongamento” ( $\delta$ ), encontram-se na Tabela 6. A barra foi simulada por intermédio de um elemento finito de tipo PIPE16 encastrado num extremo e livre no outro com aplicação no extremo livre de uma carga de 20 kN e comprimento de elemento de 0,5 m, através do programa de análises numéricas ANSYS.

**Tabela 6 – Cálculos Analíticos de Ensaio Elemento PIPE16;**

Dados:	Cálculos Analíticos	Valores Numéricos
$P = 20 \text{ kN}$	$A = (\pi/4) \times (0,0254^2 - 0,023^2) = 9,12 \times 10^{-5} \text{ m}^2$	219MPa
$E = 200 \text{ GPa}$	$\sigma = P/A = (20 \times 10^3) / (9,12 \times 10^{-5}) = 219,22 \text{ MPa}$	
$L = 0,5 \text{ m}$	$\delta = (P \times L) / (A \times E) = (\sigma \times L) / E = 0,548 \times 10^{-3} \text{ m}$	0,548 mm



**Fig. 27 – Ensaio com o elemento PIPE16;**

Para o elemento recto de secção circular *PIPE16*, as entradas do elemento são *NMISC* e as saídas correspondentes são as referidas na Tabela 7.

**Tabela 7 – Saídas e entradas para o elemento PIPE16;**

OUTPUT	INPUT
S1MX	NMISC
S3MX	NMISC
SINTMX	NMISC
SEQVMX	NMISC

Sendo *S1MX* a tensão principal máxima, *S3MX* a tensão principal mínima, *SINTMX* a intensidade de tensão máxima e, por último, *SEQVMX* a tensão máxima equivalente (Fig. 28, Fig. 29).

**Table 16.2 PIPE16 Element Output Definitions**

Name	Definition	O	R
EL	Element Number	Y	Y
NODES	Nodes - I, J	Y	Y
MAT	Material number	Y	Y
VOLU:	Volume	-	Y
XC, YC, ZC	Location where results are reported	Y	6
CORAL	Corrosion thickness allowance	1	1
TEMP	TOUT(I), TIN(I), TOUT(J), TIN(J)	2	2
TEMP	TAVG(I), T90(I), T180(I), TAVG(J), T90(J), T180(J)	2	2
PRES	PINT, PX, PY, PZ, POUT	Y	Y
SFACTI, SFACTJ	Stress intensification factors at nodes I and J	Y	Y
STH	Stress due to maximum thermal gradient through the wall thickness	Y	Y
SPR2	Hoop pressure stress for code calculations	-	Y
SMI, SMJ	Moment stress at nodes I and J for code calculations	-	Y
SDIR	Direct (axial) stress	-	Y
SBEND	Maximum bending stress at outer surface	-	Y
ST	Shear stress at outer surface due to torsion	-	Y
SSF	Shear stress due to shear force	-	Y
S(1MX, 3MN, INTMX, EQVMX)	Maximum principal stress, minimum principal stress, maximum stress intensity, maximum equivalent stress (all at the outer surface)	Y	Y
S(AXL, RAD, H, XH)	Axial, radial, hoop, and shear stresses	4	4
S(1, 3, INT, EQV)	Maximum principal stress, minimum principal stress, stress intensity, equivalent stress	4	4
EPDL(AXL, RAD, H, XH)	Axial, radial, hoop, and shear strains	4	4
EPTH(AXL, RAD, H)	Axial, radial, and hoop thermal strain	4	4
MFOR(X, Y, Z)	Member forces for nodes I and J (in the element coordinate system)	3	Y
MMOM(X, Y, Z)	Member moments for nodes I and J (in the element coordinate system)	3	Y

1. If the value is greater than 0.  
2. If KEYOPT(1) = 0  
3. If KEYOPT(1) = 1  
4. The item repeats at 0°, 45°, 90°, 135°, 180°, 225°, 270°, 315° at node I, then at node J, all at the outer surface.

**Fig. 28 – Definições de saídas do elemento PIPE16, da ajuda do ANSYS;**

**Table 16.5 PIPE16 Item and Sequence Numbers**

Output Quantity Name	Item	E
STH	SMISC	17
PINT	SMISC	18
PX	SMISC	19
PY	SMISC	20
PZ	SMISC	21
POUT	SMISC	22
SFACTI	NMISC	81
SFACTJ	NMISC	82
SPR2	NMISC	83
SMI	NMISC	84
SMJ	NMISC	85
S1MX	NMISC	86
S3MN	NMISC	87
SINTMX	NMISC	88
SEQVMX	NMISC	89

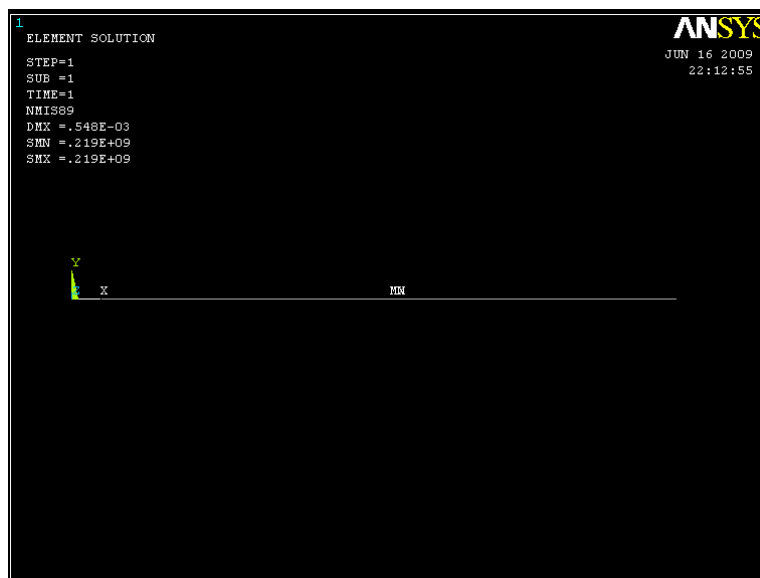
**PIPE16 Assumptions and Restrictions**

- The pipe must not have a zero length or wall thickness. In addition, the OD must not be less than or equal to zero, the ID must not be less than zero, and the corrosion thickness allowance must be less than the wall thickness.
- The element temperatures are assumed to vary linearly along the length.
- The element may be used for both thin and thick-walled situations; however, some of the stress calculations are based on thin-wall theory.
- The pipe element is assumed to have "closed ends" so that the axial pressure effect is included.
- Shear deflection capability is also included in the element formulation.
- Eigenvalues calculated in a gyroscopic modal analysis can be very sensitive to changes in the initial shift value, leading to potential error in either the real or imaginary (or both) parts of the eigenvalues.

**PIPE16 Product Restrictions**

**Fig. 29 – Itens e números de seqüências de obtenção de resultados do ANSYS;**

Sendo o Módulo de *Young* (  $E$  ) igual a 200 GPa e a área da secção tubular igual a  $9,12 \times 10^{-5} \text{ m}^2$ , para um diâmetro exterior de 25,4 mm e espessura de 1,2 mm, obteve-se uma tensão teórica de 219,22 MPa e um deslocamento de  $0,548 \times 10^{-3} \text{ m}$  (Tabela 6). Dado que os resultados obtidos através do programa de análise numérica *ANSYS* foram 219 MPa e  $0,548 \times 10^{-3} \text{ m}$  obteve-se assim a validação da utilização do elemento *PIPE 16*.



**Fig. 30 – Resultado do ensaio com o elemento PIPE16;**

### **Carregamentos e Constrangimentos Aplicados:**

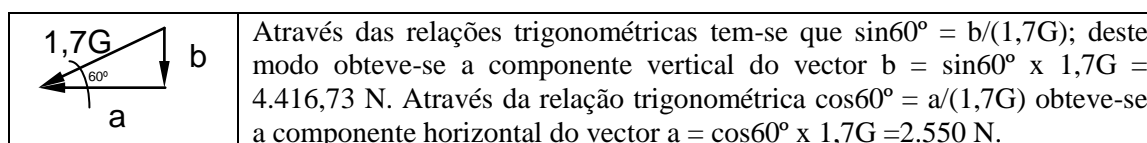
Na análise pelo Método dos Elementos Finitos realizado em *ANSYS* aplicaram-se esforços de serviço derivados da travagem, aceleração, peso próprio, impacto numa roda, peso do motor e do piloto. Também foram aplicados esforços particulares, relativos à possibilidade de embate frontal, lateral e no *rollbar*.

Em resumo, tem-se que os esforços de serviço são:

- Massa própria do veículo estimado em 300 kg;
- Massa do motor de aproximadamente 60% do peso seco da mota de onde foi tirado, que corresponde a  $180 \times 0,6 \approx 100 \text{ kg}$ , dividido por 4 apoios;
- Massa do piloto, que foi considerado de 70 kg.

Quanto aos esforços particulares, foram impostos embates de 20 G's, na secção frontal e lateral, correspondendo a uma força de embate frontal igual a 60.000 N, que, dividida pelos três nós frontais, dá 20.000 N por nó. No embate lateral dado que se considerou a força aplicada em 3 nós, obteve-se 20.000 N por nó.

No topo do arco de protecção central, resultantes de um hipotético capotamento, considerou-se 1,7 Gs aplicados numa direcção de  $60^\circ$  com a horizontal (Fig. 31).



**Fig. 31 – Cálculo das componentes do carregamento aplicado no topo do arco de protecção traseiro;**

Em relação aos constrangimentos, foi restringido o movimento segundo o eixo dos  $y$ 's em seis nós (7-8-17-18-46-47) (condição de simplesmente apoiado) e em dois nós (52-53) efectuou-se uma restrição de deslocamento e rotação segundo o eixo dos  $x$ 's,  $y$ 's e  $z$ 's (condição de encastrado), nos nós onde se prevê a aplicação dos braços de suspensão, (Fig. 33).

A restrição segundo o eixo dos “ $y$ ”s tem como finalidade simular o apoio do veículo no solo, enquanto que o encastramento na traseira do veículo simula a situação mais desfavorável, em que o mesmo se encontra bloqueado por uma “parede” durante o embate.

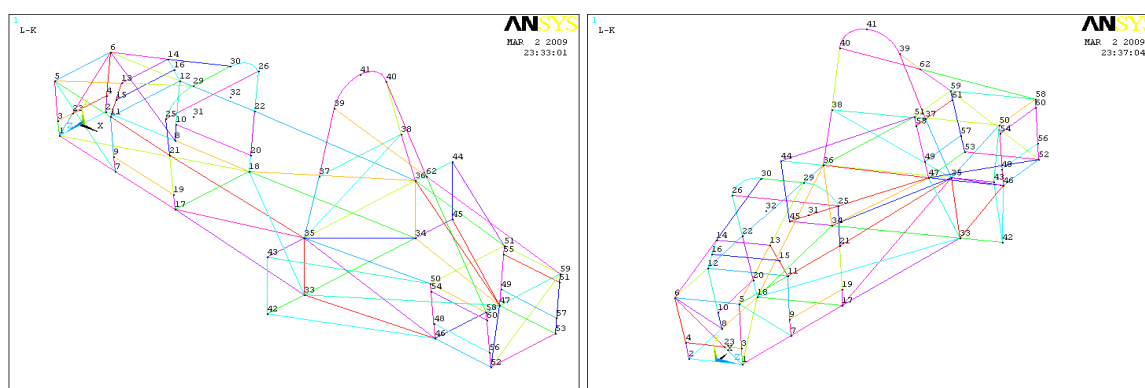
Para os diferentes materiais considerados, encontra-se indicado na Tabela 8 os vários pesos obtidos para o chassis.

**Tabela 8 – Massa do Chassis para os materiais considerados (Tabela 6), em análises anteriores [5];**

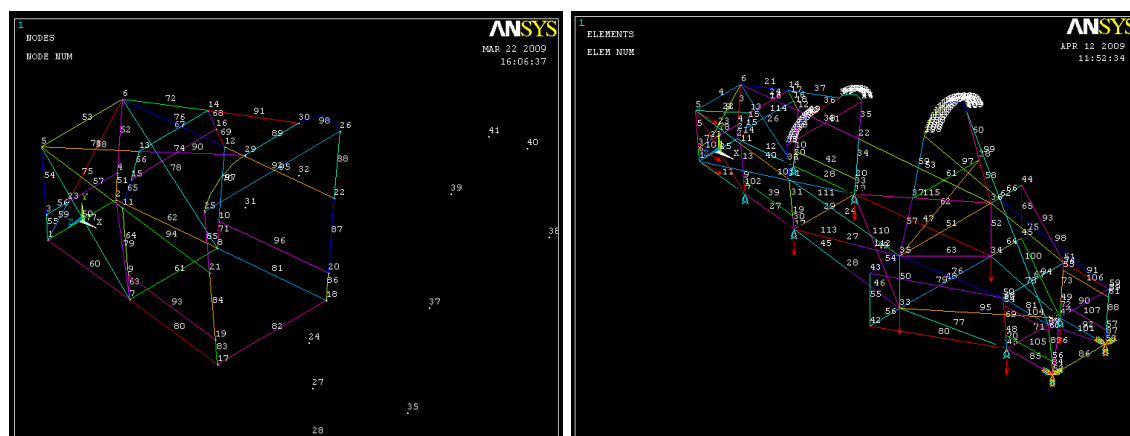
Material	4130/4340	2024	6061 T4/T6	6082 T6	7075
Massa(kg)	99,8	34,6	33,6	35,0	35,0

### **Modelação da Geometria do Chassis em ANSYS:**

A modelação do chassis foi obtida através da criação de *keypoints* (pontos fundamentais) (Fig. 33), de linhas (*lines*), de nós (*nodes*) e de elementos (*elements*) (Fig. 34). Para se obterem os elementos teve que se definir as constantes reais (*real constants*) e as propriedades do modelo de material utilizado (*material properties*) (Tabela 9). As coordenadas com a posição dos *keypoints* e dos nós do modelo encontram-se em Anexo.



**Fig. 32 – 1.ª Modelação 2009 em ANSYS do Chassis . Representação em “keypoints” e “lines”;**



**Fig. 33 – Modelação dos Nós e dos Elementos. Carregamentos e constrangimentos aplicados;**

## Propriedades dos Materiais e dos elementos em ANSYS:

Os valores das propriedades do material introduzidos no programa de análises numérica foram, para as ligas de aço AISI 4130 e 4340, os referidos na Tabela 9.

**Tabela 9 – Propriedades dos Aços AISI 4130 e 4340;**

Material	Tensão Cedência [MPa]	Tensão de Rotura [MPa]	Coefficiente Poisson	Massa Volúmica [kg/m <sup>3</sup> ]	Módulo de Elasticidade [GPa]
AISI 4130	435	670	0,29	7850	205
AISI 4340	1145	1207	0,29	7850	205

As constantes reais relativas às dimensões da secção dos elementos finitos utilizados foram, para a secção circular, de:  $\varnothing 1'' \times 0,095'' = \varnothing 25,4 \times 2,4 \text{ mm} = \varnothing 0,0254 \times 0,0024 \text{ m}$

Para elementos de secção quadrangular foi considerada a seguinte dimensão:  $1'' \times 0,065'' = 25,4 \times 1,651 \text{ mm} = 0,0254 \times 0,001651 \text{ m}$

Os tipos de elementos usados foram, conforme referido anteriormente, o *PIPE16* para os elementos de secção circular rectos, o *PIPE18* para os elementos de secção circular curvos e o *BEAM4* para os elementos de secção quadrada rectilíneo.

Considerando os tipos de elementos (*elements types*) aplicados os parâmetros introduzidos no programa de cálculos numéricos ANSYS foram os seguintes:

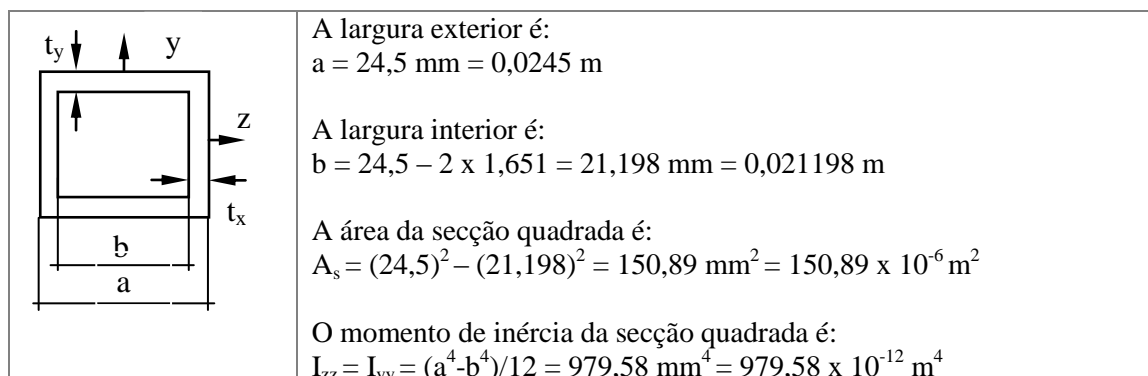
- Ao tipo de elemento recto de secção circular *PIPE16* corresponde a constante real (*real constant*) número 1, que contém os seguintes dados de diâm.<sub>ext.</sub> = 0,0254 m e espessura = 0,0024 m e a constante real (*real constant*) número 5, que contém os seguintes dados de diâm.<sub>ext.</sub> = 0,0254 m e espessura = 0,00635 m;
- Ao tipo de elemento curvo de secção circular *PIPE18* corresponde a constante real 2, com os seguintes dados de diâm.<sub>ext.</sub> = 0,0024 m, esp.<sub>par.</sub> = 0,0024 m e raio<sub>curv.</sub> = 0,1449 m para a construção do aro de protecção traseira e a constante real 4, com os seguintes dados de diâm.<sub>ext.</sub> = 0,0254 m, esp.<sub>par.</sub> = 0,0024 m e raio<sub>curv.</sub> = 0,1625 m para a construção do arco de protecção frontal;
- Ao tipo de elemento recto de secção quadrada *BEAM4*, a que corresponde a constante real 3 e com os seguintes parâmetros de área,  $A = (24,5)^2 - (24,5 - (2 \times 1,651))^2 = 150,89 \text{ mm}^2 = 150,89 \times 10^{-6} \text{ m}^2$ , de momento de inércia  $I_{zz} = I_{yy} = (a^4 - b^4)/12 = 979,58 \times 10^{-12}$  e de esp.<sub>par.z</sub> = esp.<sub>par.y</sub> = 0,001651 m.

**Tabela 10 – Constantes aplicadas no programa ANSYS durante as análises;**

Tipo de Elementos	Constante Reais	Valores	Descrição
PIPE 16	REAL CONSTANT 1	OD = 0,0254 m TKWALL = 0,0024 m	Elemento secção circular recto
PIPE 18	REAL CONSTANT 2	OD = 0,0254 m TKWALL = 0,0024 m RAD CURV = 0,1449 m	Elemento secção circular curvo
BEAM 4	REAL CONSTANT 3	AREA = 150,89e-06 m <sup>2</sup> $I_{zz} = I_{yy} = 978,58e-12 \text{ m}^4$ TKZ = TKY = 0,001651	Elemento secção quadrada recto
PIPE 18	REAL CONSTANT 4	OD = 0,0254 m TKWALL = 0,0024 m RAD CURV = 0,1625 m	Elemento secção circular curvo
PIPE 16	REAL CONSTANT 5	OD = 0,0254 m TKWALL = 0,00635 m	Elemento secção circular recto
PIPE 16	REAL CONSTANT 5	OD = 0,0254 m TKWALL = 0,0127 m	Elemento secção circular recto



Na Figura 34 pode-se verificar os cálculos efectuados para obter os parâmetros relativos aos elementos de secção quadrada *BEAM4* com constante real 3:



**Fig. 34 – Parâmetros relativos aos elementos de secção quadrada *BEAM4*;**

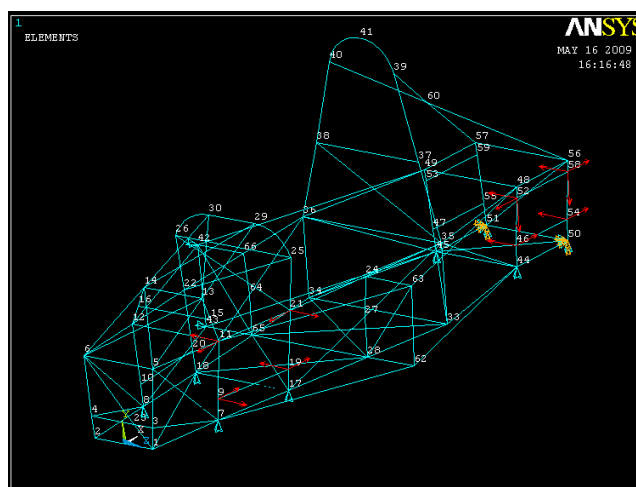
O modelo do material foi considerado nas propriedades do material (*Material Prop*) *Structural/Linear/Elastic/Isotropic* com o  $\nu = 0,29$ ,  $E = 205 \text{ GPa}$  e Massa Volúmica,  $\rho = 7850 \text{ kg/m}^3$ .

### Análises ANSYS:

As várias análises por elementos finitos foram efectuadas considerando os esforços indicados anteriormente aplicados individualmente e sobrepostos. As forças induzidas pelo sistema de suspensão encontram-se na Tabela 11 e foram obtidas em [7].

**Tabela 11 – Esforços impostos pela suspensão;**

NÓS	DIREC.	INTENSIDADE [N]
9	FX	3079,00
9	FZ	8742,00
11	FX	-2879,00
11	FZ	-6451,00
19	FX	829,00
19	FZ	-1723,00
21	FX	-1109,00
21	FZ	2268,00
46	FX	1987,00
46	FZ	-7970,00
52	FX	-2065,00
52	FY	-140,00
52	FZ	-1605,00
54	FX	678,00
54	FZ	-1319,00
58	FX	856,00
58	FY	-339,00
58	FZ	-3829,00



**Fig. 35 – Esforços de Suspensão;**

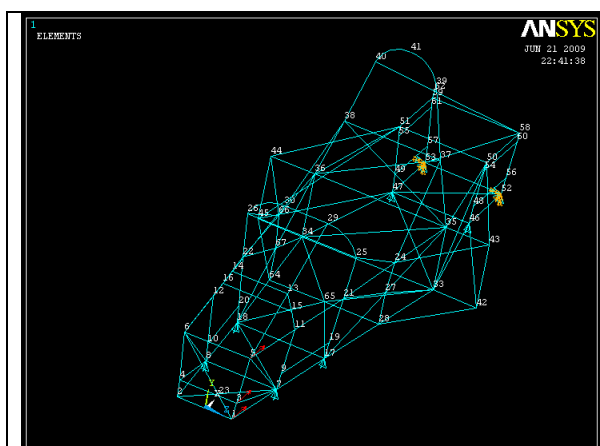
Os vários carregamentos aplicados encontram-se descritos na Tabela 12 e na Tabela 13. Nas figuras 36 a 39 encontra-se demonstrado o posicionamento dos carregamentos em cada fase analisada.

**Tabela 12 – Totalidade dos carregamentos aplicados:**

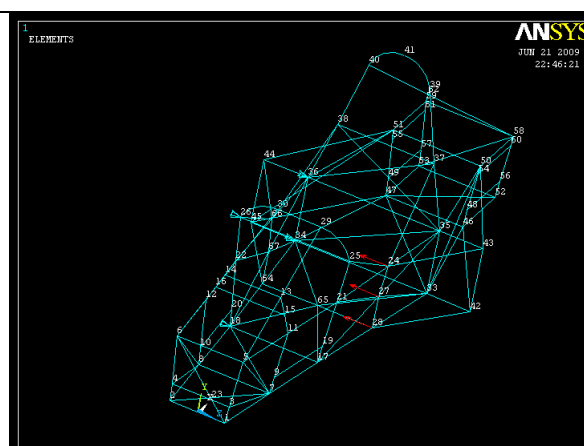
NÓS	DIR.	Intensidade [N]	Descrição
1	FX	20.000,00	Embate frontal
3	FX	20.000,00	Embate frontal
5	FX	20.000,00	Embate frontal
9	FX	3.079,00	Suspensão
9	FZ	8742,00	Suspensão
11	FX	-2.879,00	Suspensão
11	FZ	-6.451,00	Suspensão
19	FX	829,00	Suspensão



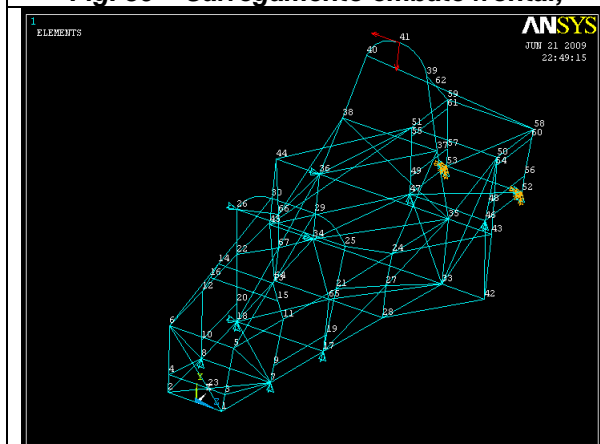
19	FZ	-1.723,00	Suspensão
21	FX	-1.109,00	Suspensão
21	FZ	2.268,00	Suspensão
24	FZ	-20.000	Embate lateral
27	FZ	-20.000	Embate lateral
28	FZ	-20.000	Embate lateral
41	FY	-4.416,73	Capotamento
41	FZ	-2.550,00	Capotamento
48	FX	1.987,00	Suspensão
48	FZ	7970,00	Suspensão
54	FX	-2.065,00	Suspensão
54	FY	-140,00	Suspensão
54	FZ	-1.605,00	Suspensão
56	FX	678,00	Suspensão
56	FZ	1.319,00	Suspensão
60	FX	856,00	Suspensão
60	FY	-339,00	Suspensão
60	FZ	-3.829,00	Suspensão



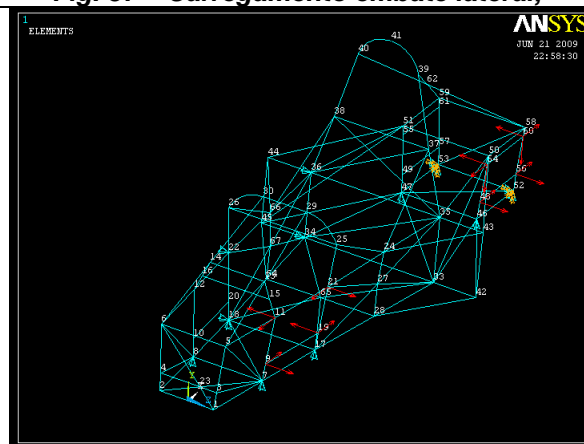
**Fig. 36 – Carregamento embate frontal;**



**Fig. 37 – Carregamento embate lateral;**



**Fig. 38 – Carregamento capotamento;**



**Fig. 39 – Esforços da suspensão;**

### **Solução de Chassis n.º 1:**

Com o objectivo de reduzir o valor da tensão máxima induzida na estrutura do chassis - inferior aos níveis de tensão de cedência dos materiais considerados - fez-se o estudo da variação da espessura da parede tubular dos elementos utilizados (Tabela 13) de acordo com a nota da Tabela 1 (página 10) e mantendo o diâmetro exterior do tubo constante e igual a 25,4mm (Tabela 13). A geometria da Solução 1 considerada é visível nas Figs. 40 a 45 e está descrita com muito maior detalhe no Anexo C.

**Tabela 13 – Dimensões normalizada de tubo de secção circular, diâmetro exterior de 1”;**

<i>Diam. Ext</i>		<i>Espessura</i>		<i>Diam Int</i>
<i>Pol.</i>	<i>mm</i>	<i>Pol.</i>	<i>mm</i>	<i>mm</i>
1	25,4	0,095	2,413	22,987
1	25,4	0,120	3,048	22,352
1	25,4	0,125	3,175	22,225
1	25,4	0,156	3,9624	21,4376
1	25,4	0,188	4,7752	20,6248
1	25,4	0,219	5,5626	19,8374
1	25,4	0,250	6,35	19,05

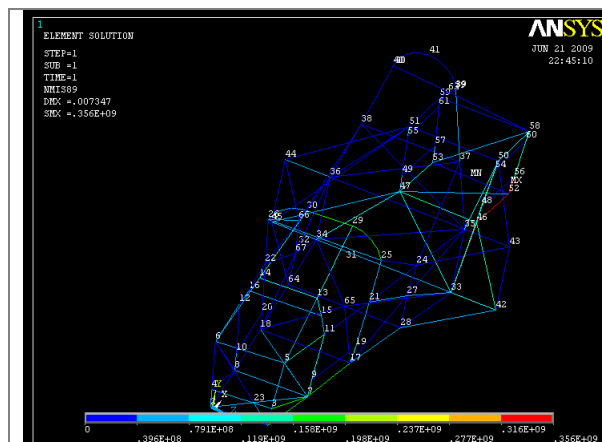
Desta forma, todos os elementos das laterais e frente que rodeiam o piloto foram substituídos por elementos com diâmetro externo de 25,4 mm (1”) e com espessura de 6,35 mm (0,250”).

Os resultados obtidos encontram reunidos na tabela em abaixo:

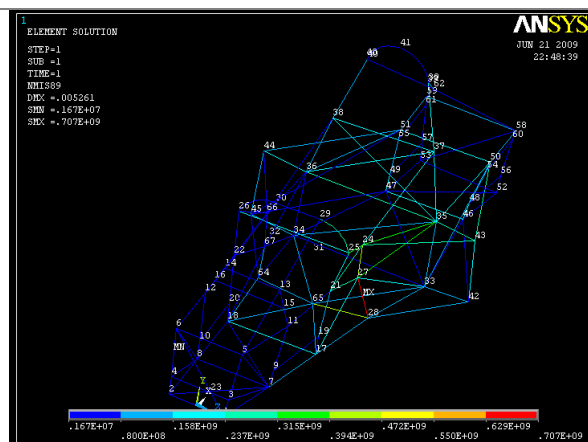
**Tabela 14 – Resultados das análises efectuadas em ANSYS chassis de solução 1;**

<i>Descrição Análise</i>	<i>Deformação Máxima [m]</i>	<i>Tensão Eqv. Máxima [MPa]</i>	AISI 4130		AISI 4340	
			<i>Tensão Cedência [MPa]</i>	<i>Tensão Rotura [MPa]</i>	<i>Tensão Cedência [MPa]</i>	<i>Tensão Rotura [MPa]</i>
Embate Frontal (Fig. 40)	0,007347	356,00	435,00	670,00	1145,00	1207,00
Embate Lateral (Fig. 41)	0,005261	707,00	435,00	670,00	1145,00	1207,00
Capotamento (Fig. 42)	0,001994	189,00	435,00	670,00	1145,00	1207,00
Total Embates (Fig. 43)	0,005574	721,00	435,00	670,00	1145,00	1207,00
Suspensão (Fig. 44)	0,001173	344,00	435,00	670,00	1145,00	1207,00
Total Esforços (Fig. 45)	0,005523	716,00	435,00	670,00	1145,00	1207,00

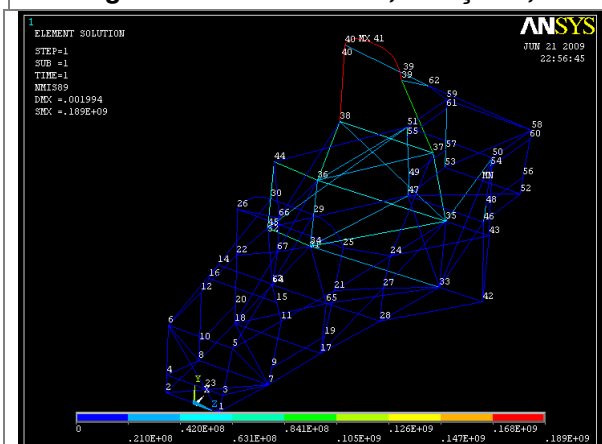
A tabela 14 foi obtida com base nos resultados das análises seguintes (Fig. 40 à 45):



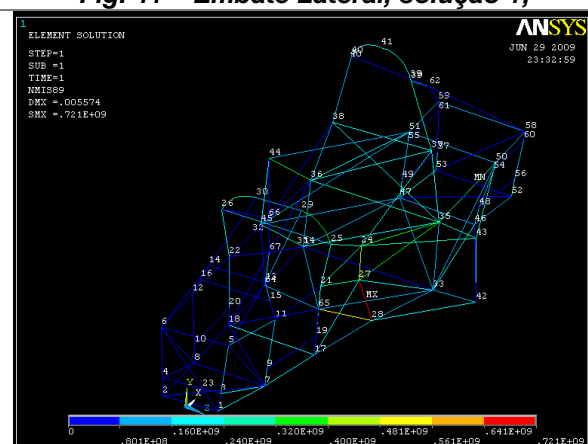
**Fig. 40 – Embate Frontal, solução 1;**



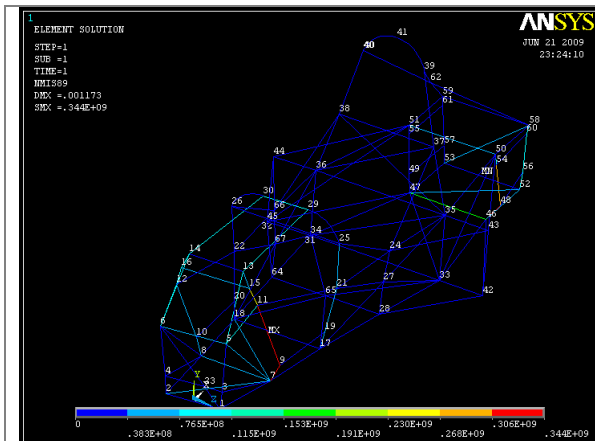
**Fig. 41 – Embate Lateral, solução 1;**



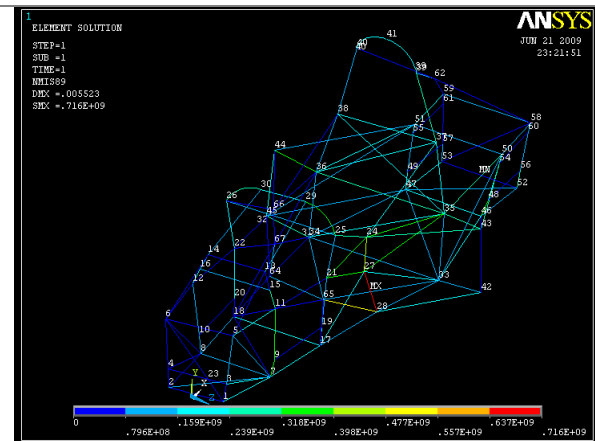
**Fig. 42 – Capotamento, solução 1;**



**Fig. 43 – Total Embates, solução 1;**



**Fig. 44 – Esforços suspensão, solução 1;**



**Fig. 45 – Total esforços, solução 1;**

Nesta análise verificou-se que no ensaio de embate lateral e no de total de embates as tensões equivalentes máximas encontram-se superiores à tensão de cedência da liga de aço 4130, e inferiores para a tensão de cedência da liga de aço 4340.

No ensaio de total de esforços o elemento mais crítico é o elemento vertical inferior que efectua a protecção lateral do piloto.

De assinalar que o total de embates é composto pelo embate frontal, embate lateral e do embate resultante do capotamento.

Quanto ao total de esforço é composto por todos os esforços aplicados, isto é, o total de embates e os esforços derivados pela suspensão.

### **Solução de Chassis n.º 2:**

Nesta solução foi estudado um chassis que varia do original pelo reforço dos elementos estruturais e a aplicação de alguns elementos extra, tendo-se procedido ao reposicionamento da zona de suporte do radiador, por forma proteger e aumentar a resistência na zona de protecção ao piloto.

Foram utilizadas as constantes reais 1, 2, 3, 4 e 5 que se encontram na Tabela 10.

No capítulo de anexos encontra-se o posicionamento dos nós que compõem os elementos da solução de chassis estudada.

Os resultados obtidos na análise de segunda solução encontram-se reunidos na tabela em abaixo:

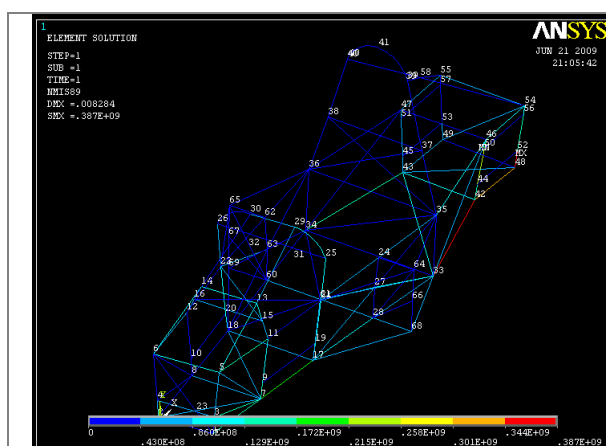
**Tabela 15 – Resultados das análises efectuadas em ANSYS chassis de solução 2;**

Descrição Análise	Deformação Máxima [m]	Tensão Eqv. Máxima [MPa]	AISI 4130		AISI 4340	
			Tensão Cedência [MPa]	Tensão Rotura [MPa]	Tensão Cedência [MPa]	Tensão Rotura [MPa]
Embate Frontal (Fig. 46)	0,008284	387,00	435,00	670,00	1145,00	1207,00
Embate Lateral (Fig. 47)	0,004112	383,00	435,00	670,00	1145,00	1207,00
Capotamento (Fig. 48)	0,003684	187,00	435,00	670,00	1145,00	1207,00
Total Embates (Fig. 49)	0,003239	478,00	435,00	670,00	1145,00	1207,00
Suspensão (Fig. 50)	0,000727	319,00	435,00	670,00	1145,00	1207,00
Total Esforços (Fig. 51)	0,003349	515,00	435,00	670,00	1145,00	1207,00

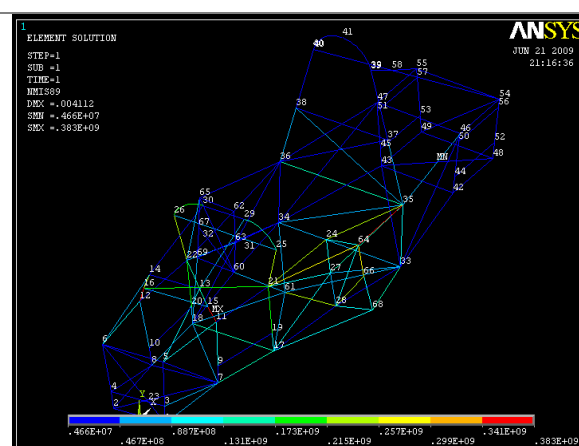
A tabela 15 foi obtida com base nas análises seguintes (Fig. 46 à 51).

Através das figuras das análises seguintes concluiu-se que para a solução 2 as tensões máximas resultantes encontram-se abaixo da tensão de cedência da liga de aço 4130 e consequentemente da liga de aço 4340 em todos ensaios, excepto para o ensaio de total de embates e no ensaio de total de esforços,

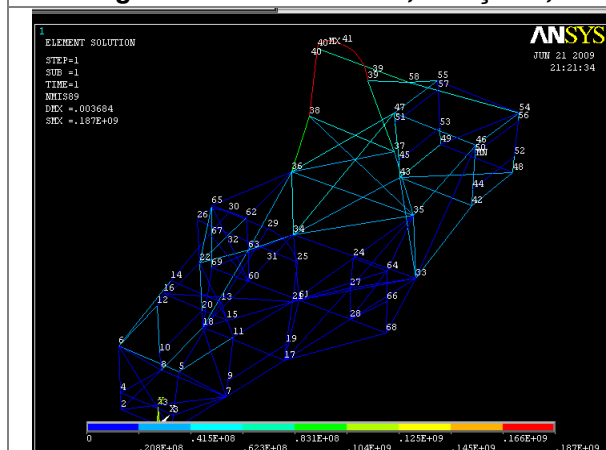
Nesta solução os elementos estruturais mais críticos nas solicitações são os elementos que no topo suportam o arco de protecção frontal ao piloto.



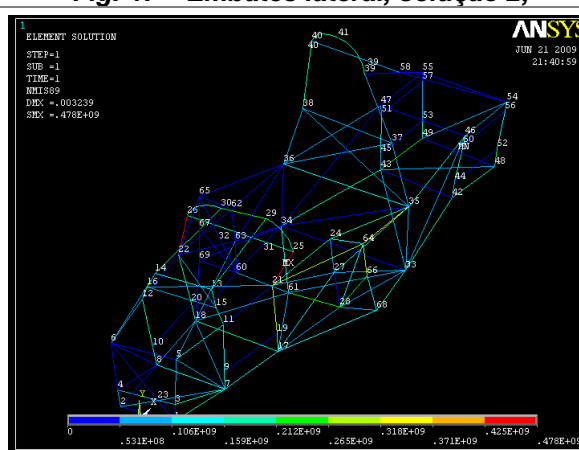
**Fig. 46 – Embates frontal, solução 2;**



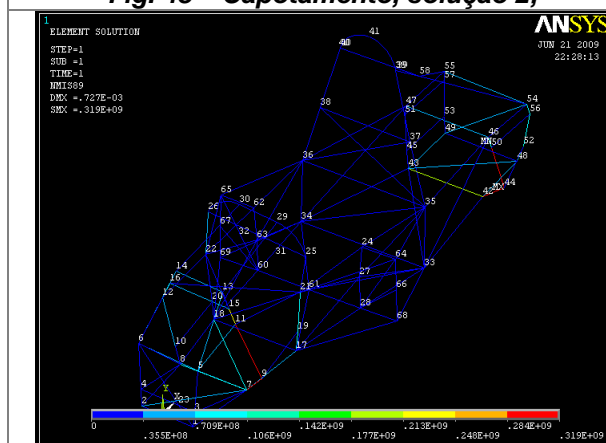
**Fig. 47 – Embates lateral, solução 2;**



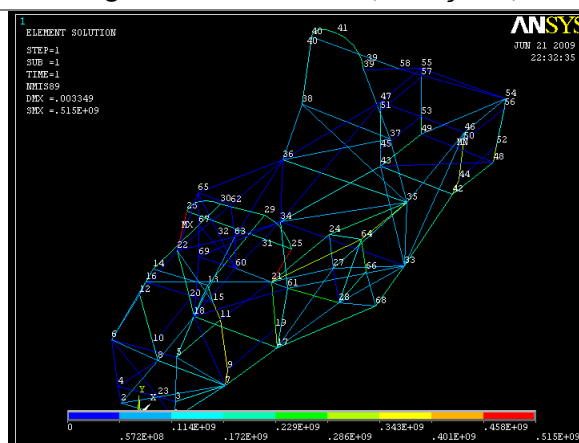
**Fig. 48 – Capotamento, solução 2;**



**Fig. 49 – Total embates, solução 2;**



**Fig. 50 – Esforços suspensão, solução 2;**



**Fig. 51 – Total esforços, solução 2;**

### **Solução de Chassis n.º 3:**

Nesta solução aumentou-se o número de elementos utilizados e complexidade na sua disposição, de modo a que o chassis pudesse resistir melhor aos esforços impostos, tendo sido obtidos resultados inferiores à tensão de cedência da liga de aço AISI 4130.

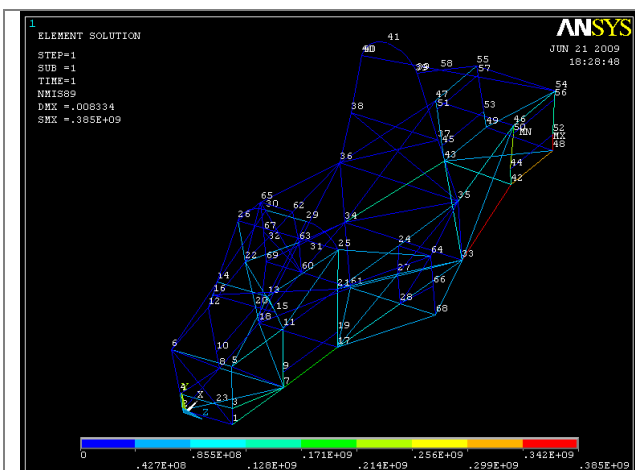
Foram utilizadas as constantes reais 1, 2, 3 e 4 que se encontra na Tabela 10 e no capítulo de anexos encontra-se o posicionamento dos nós que compõem os elementos da solução de chassis.

Os resultados obtidos na análise da solução n.º 3 encontram-se reunidos na Tabela 16:

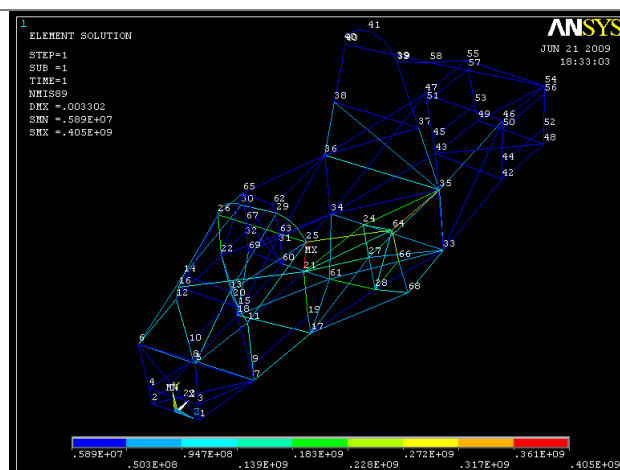
**Tabela 16 – Resultados das análises efectuadas em ANSYS do chassis de solução nº 3;**

Descrição Análise	Deformação Máxima [m]	Tensão Eqv. Máxima [MPa]	AISI 4130		AISI 4340	
			Tensão Cedência [MPa]	Tensão Rotura [MPa]	Tensão Cedência [MPa]	Tensão Rotura [MPa]
Embate Frontal (Fig. 52)	0,008334	385,00	435,00	670,00	1145,00	1207,00
Embate Lateral (Fig. 53)	0,003302	405,00	435,00	670,00	1145,00	1207,00
Capotamento (Fig. 54)	0,003482	187,00	435,00	670,00	1145,00	1207,00
Total Embates (Fig. 55)	0,002251	291,00	435,00	670,00	1145,00	1207,00
Suspensão (Fig. 56)	0,000673	329,00	435,00	670,00	1145,00	1207,00
Total Esforços (Fig. 57)	0,002247	347,00	435,00	670,00	1145,00	1207,00

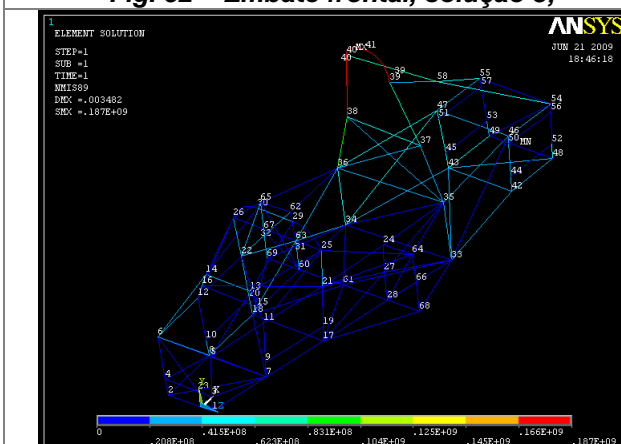
A tabela 16 foi obtida com base nas análises seguintes (Fig. 52 à 57):



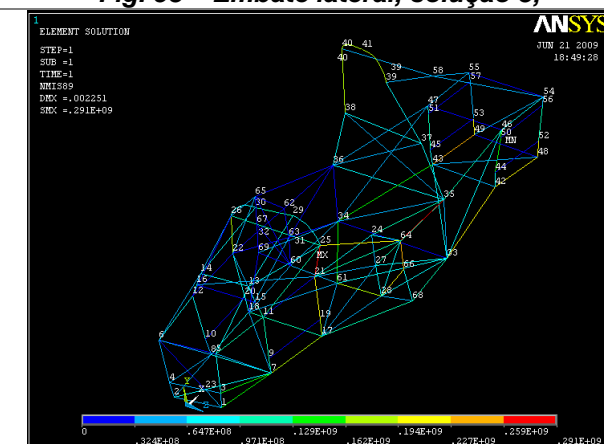
**Fig. 52 – Embate frontal, solução 3;**



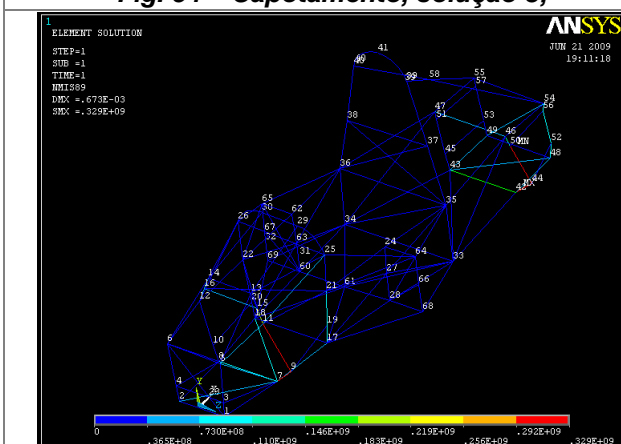
**Fig. 53 – Embate lateral, solução 3;**



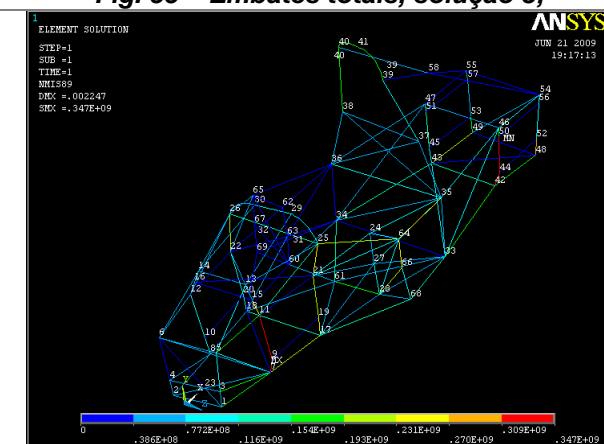
**Fig. 54 – Capotamento, solução 3;**



**Fig. 55 – Embates totais, solução 3;**



**Fig. 56 – Esforços suspensão, solução 3;**



**Fig. 57 – Esforços totais, solução 3;**

Nesta solução apesar do aumento da complexidade na disposição dos elementos estruturais e aumento no número de elementos estruturais o chassis revelou cumprir todos os parâmetros de exigência estando as tensões equivalentes máximas resultantes inferiores às tensões de cedência das ligas de aço 4130 e 4340.

### **Solução de Chassis n.º 4:**

Esta análise foi baseada na primeira solução (Solução n.º 1), mas incluindo elementos com origem no arco protecção traseiro e terminando no elemento lateral superior de segurança. O elemento lateral superior de protecção ao piloto é uma barra cheia do mesmo material dos restantes elementos. Os resultados são da mesma ordem de grandeza dos da primeira solução, mas ligeiramente superiores.

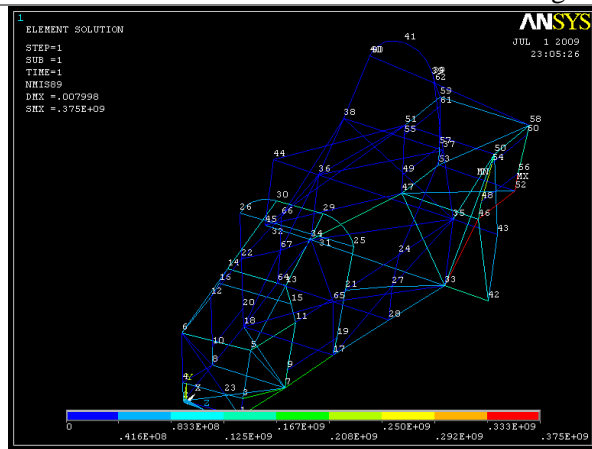
Foram utilizadas as constantes reais que se encontram na Tabela 10 e no capítulo de anexos encontra-se o posicionamento dos nós que compõem os elementos da solução de chassis n.º 4.

Os resultados obtidos na análise da quarta solução encontram-se reunidos na Tabela 17:

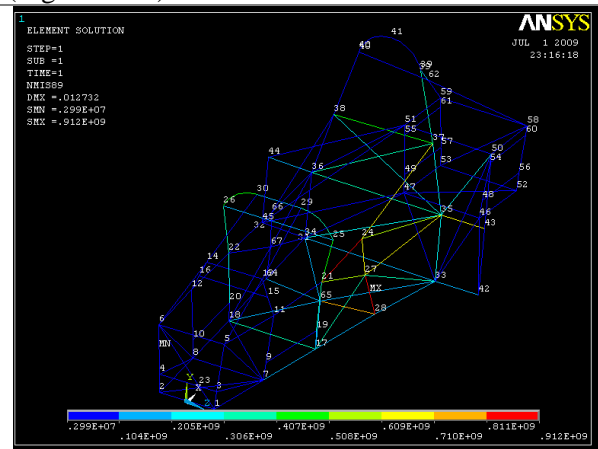
**Tabela 17 – Resultados das análises efectuadas em ANSYS chassis de solução 4;**

Descrição Análise	Deformação Máxima [m]	Tensão Eqv. Máxima [MPa]	AISI 4130		AISI 4340	
			Tensão Cedência [MPa]	Tensão Rotura [MPa]	Tensão Cedência [MPa]	Tensão Rotura [MPa]
Embate Frontal (Fig.58)	0,007998	375,00	435,00	670,00	1145,00	1207,00
Embate Lateral (Fig.59)	0,012732	912,00	435,00	670,00	1145,00	1207,00
Capotamento (Fig.60)	0,004309	190,00	435,00	670,00	1145,00	1207,00
Total Embates (Fig.61)	0,012476	943,00	435,00	670,00	1145,00	1207,00
Suspensão (Fig.62)	0,001172	345,00	435,00	670,00	1145,00	1207,00
Total Esforços (Fig.63)	0,012347	937,00	435,00	670,00	1145,00	1207,00

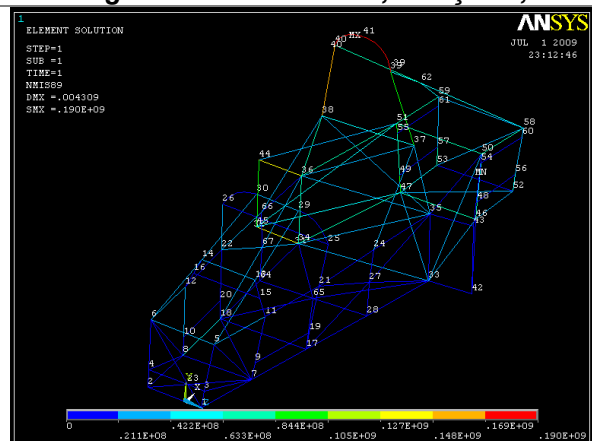
A tabela 17 foi obtida com base nas análises seguintes (Fig. 58 à 63):



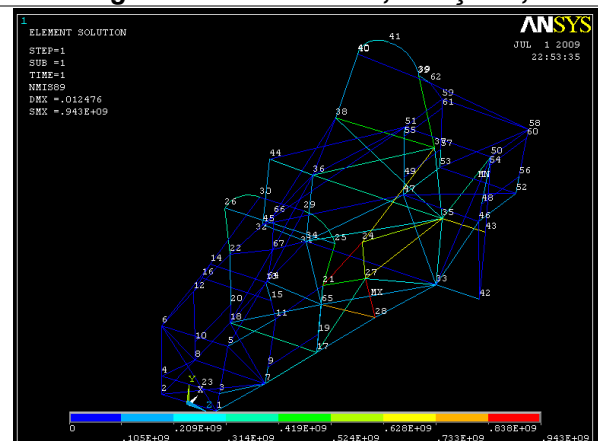
**Fig. 58 – Embate frontal, solução 4;**



**Fig. 59 – Embate lateral, solução 4;**

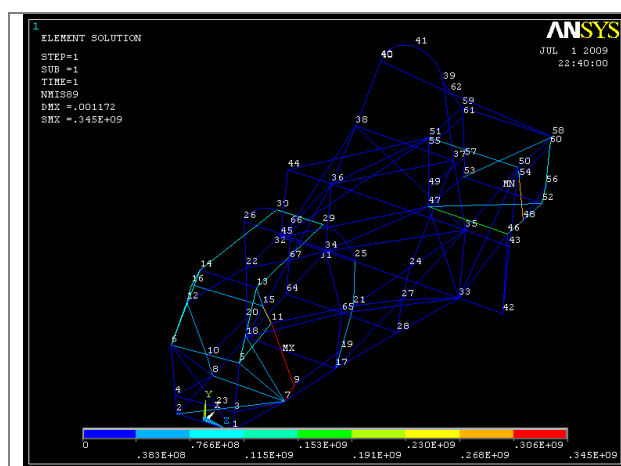


**Fig. 60 – Capotamento, solução 4;**

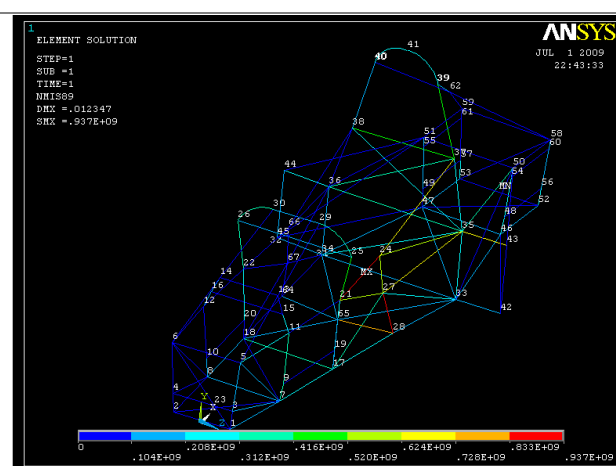


**Fig. 61 – Embates totais, solução 4;**





**Fig. 62 – Esforços suspensão, solução 4;**



**Fig. 63 – Esforços totais, solução 4;**

Verifica-se nesta solução que apesar da simplicidade no posicionamento dos elementos estruturais e do baixo peso da estrutura a tensão máxima equivalente é superior tensão de rotura da liga de aço 4130, e inferior para a liga de aço 4340, para o ensaio de embate lateral e consequentemente ensaio de total de esforços. Sendo os elementos estruturais críticos os elementos verticais centrais de protecção lateral do piloto.

Visto que a tensão equivalente máxima obtida se encontra dentro da tensão de cedência da liga de aço 4340, esta solução só pode ser fabricada para este mesmo material.

### Conclusões Preliminares:

Comparativamente entre as soluções apresentadas a análise de embate frontal na existe soluções com tensões resultantes superiores à tensão de cedência da lida de aço 4130 e consequentemente à lia de aço 4340.

A análise de embate lateral é a mais crítica entre as soluções. Verifica-se que para a solução 1 e 4 as tensões resultantes da análise encontram se dentro do regime de cedência do material da liga de aço 4130 e inferiores à tensão de cedência da liga de aço 4340.

Na análise de capotamento as tensões resultantes para todas as soluções são muito inferiores à tensão de cedência da liga de aço 4130 (cerca de 1/3) e, por isso, relativamente à liga de aço 4340 as tensões resultantes encontram-se mais afastadas.

Sendo a análise total de embates a sobreposição das análises de embate frontal, embate lateral e capotamento, verifica-se as soluções 1, 2 e 4 encontram-se com tensões resultantes superiores à tensão de cedência da liga de aço 4130 e inferiores à liga de aço 4340. Não sendo esperado para a solução 2.

**Tabela 18 – Tensões resultantes das diversas análises efectuadas às soluções;**

Descrição Análise	Solução 1		Solução 2		Solução 3		Solução 4		AISI 4130		AISI 4340	
	Deformação Máxima [m]	Tensão Eqv. Máxima [MPa]	Deformação Máxima [m]	Tensão Eqv. Máxima [MPa]	Deformação Máxima [m]	Tensão Eqv. Máxima [MPa]	Deformação Máxima [m]	Tensão Eqv. Máxima [MPa]	Tensão Cedência [MPa]	Tensão Rotura [MPa]	Tensão Cedência [MPa]	Tensão Rotura [MPa]
Embate Frontal	0,007347	356	0,008284	387	0,008334	385	0,007998	375	435	670	1145	1207
Embate Lateral	0,005261	707	0,004112	383	0,003302	405	0,012732	912	435	670	1145	1207
Capotamento	0,001994	189	0,003684	187	0,003482	187	0,004309	190	435	670	1145	1207
Total Embates	0,005574	721	0,003239	478	0,002251	291	0,012476	943	435	670	1145	1207
Suspensão	0,001173	344	0,000727	319	0,000673	329	0,001172	345	435	670	1145	1207
Total Esforços	0,005523	716	0,003349	515	0,002247	347	0,012347	937	435	670	1145	1207

Relativamente à análise da suspensão verifica-se que as tensões resultantes de todas as soluções são inferiores á tensão de cedência da liga de aço 4130 e da liga de aço 4340.

Dado que a análise total de esforços é a sobreposição da análise total de embates mais a análise de suspensão, os resultados são idênticos à análise total de embates mas com um ligeiro agravamento nos valores em alguns casos. Desta forma as soluções 1,2 e 4 são aquelas em que a tensão resultante da análise se encontra superior á tensão de cedência da liga de aço 4130 mas inferior para a liga de aço 4340.

Relativamente à massa do chassis, para cada solução verifica-se que a solução 4 é que apresenta menor massa, deste pode-se construir um veículo mais leve ou usar esta margem para melhor equipar o mesmo. De salientar que o valor que se encontra demarcado como “Análise Anterior” é a massa obtida na análise efectuada no projecto final de curso anterior [5].

**Tabela 19 – Massas obtidas nas análises das soluções e em trabalho anterior [5];**

<i>Análise Anterior</i>	<i>Massa Solução 1</i>	<i>Massa Solução 2</i>	<i>Massa Solução 3</i>	<i>Massa Solução 4</i>
99,8 kg	90,46 kg	137,66 kg	141,16 kg	83,81 kg

## VIII. MATÉRIA-PRIMA NECESSÁRIA:

O tubo de secção circular a utilizar na estrutura do chassis do veículo deverá ser laminado a frio, sem costura (Tabela 20), de forma a reduzir as concentrações de tensões, e com as dimensões de secção iguais a  $\Phi 25,4 \times 2,4$  mm, de forma a cumprir todas as exigências dimensionais e de resistência mecânica exigidas.

Para além do referido, e com o objectivo de se reduzir ao mínimo o tempo de preparação de material para produção, dever-se-á privilegiar a escolha da menor variedade de tipos de perfil de tubo, isto é secções.

**Tabela 20 – Tubo de Aço s/ Costura (DIN 2448) [8];**

<b>TUBOS</b>		
<b>MATERIAIS</b>	<b>SÉRIES / LIGAS</b>	<b>FAIXA DE DIMENSÕES (POL.)</b>
Ligas de Alumínio	2024, 3003, 5052, 6061, 6063, 7075, setor aeronáutico, comercial, construção civil, estrutural e mecânica, tubos trefilados, extrudados, ornamentais, redondos, retangulares, quadrados	Diâmetros externos – 1/8" a 16" Espessuras de parede – 0,020" a 2"
Aço Inoxidável	303, 304, 304L, 316, 316L, 321, 347, 17-4, 15-5, setor aeronáutico, comercial, trocadores de calor, barras ocas, agulhas hipodérmicas, produtos de instrumentação, mecânicos, sanitários, tubos sem costura, soldados e trefilados, em bruto, ornamentais, redondos, retangulares, quadrados (acabamento comum e brunido)	Diâmetros externos – 0,031" a 12" Espessuras de parede – 0,004" a 2"
Ligas de Níquel e de Alto Desempenho	200, 400, 600, 601, 625, 800, 800H, 825, C276, 21-6-9, Liga 20, setor aeronáutico, comercial, tubos sem costura, soldados	Diâmetros externos – 0,031" a 7" Espessuras de parede – 0,007" a 1-1/2"
Titânio	CP, 3AL-2.5V, 15-3-3-3, GR 2, 6AL-4V, dutos	Diâmetros externos – 1/4" a 8" Espessuras de parede – 0,016" a 0,260"
Aço-Carbono e Aço-Liga	Baixo carbono, 1020, 1026, 4130, 4135, 4140, 4340, 8620, 52100, setor aeronáutico, construção mecânica, hidráulica, tubos ERW (solda com resistência elétrica), trefilados no mandril (DOM), sem costura, soldados, em bruto, redondos, retangulares, quadrados, streamline, perfis estruturais	Diâmetros externos – 0,125" a 12" Espessuras de parede – 0,020" a 3"

• Comprimentos padrão de 12 pés para laminados em alumínio • Comprimentos padrão de 17/24 pés para laminados sem ser de alumínio  
• Fornecimento conforme especificações aplicáveis do setor • Dimensões especiais disponíveis sob encomenda

O dimensionamento do comprimento linear dos elementos tubulares a ser aplicado deverá ter como base os desenhos de projecto (Anexo XII.G) e com nos comprimento linear necessário ao fabrico prever as operações de maquinação, soldadura e aproveitamento de material.



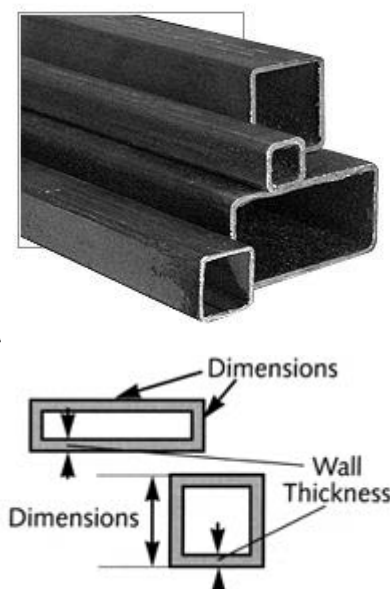
O elemento tubular de secção circular escolhido para estudo é na generalidade de Ø 25,4 x 2,413 mm (Ø 1" x 0,095"), para as ligas de aço 4130 ou 4340 do fornecedor TW Portugal (Fig. 64). Relativamente aos elementos estruturais de secção rectangular, que compõem os apoios da suspensão, foi escolhido uma secção quadrada de aresta igual ao diâmetro dos elementos estruturais de secção circular mas de espessura inferior com as dimensões 25,4 x 25,4 x 1,651 mm, para a liga de aço 4130 e para a liga de aço 4340 (Fig. 65). Estes elementos estruturais de secção quadrada apesar de terem espessura uma espessura de parede inferior aos restantes elementos ainda cumprem os requisitos presentes na Tab. 2.

**4130 TUBING** 800-203-8000 • www.twmetals.com

OUTSIDE DIAMETER	WALL THICKNESS	OUTSIDE DIAMETER	WALL THICKNESS	OUTSIDE DIAMETER	WALL THICKNESS	OUTSIDE DIAMETER	WALL THICKNESS	OUTSIDE DIAMETER	WALL THICKNESS
3/16	X .028	9/16	X .072	.885	X .140	1-3/8	X .083	2	X .083
3/16	X .035	9/16	X .083	15/16	X .083	1-3/8	X .095	2	X .095
3/16	X .049	9/16	X .109	15/16	X .156	1-3/8	X .120	2	X .120
1/4	X .028	9/16	X .120	15/16	X .188	1-3/8	X .188	2	X .188
1/4	X .035	9/16	X .156	1	X .028	1-3/8	X .250	2	X .250
1/4	X .049	9/16	X .188	1	X .035	1-3/8	X .313	2	X .313
1/4	X .058	19/32	X .049	1	X .049	1-7/16	X .250	2	X .437
1/4	X .058	5/8	X .019	1	X .058	1-1/2	X .035	2-1/8	X .188
1/4	X .065	5/8	X .028	1	X .065	1-1/2	X .049	2-1/8	X .225
1/4	X .095	5/8	X .035	1	X .083	1-1/2	X .058	2-1/8	X .313
5/16	X .022	5/8	X .049	1	X .095	1-1/2	X .065	2-1/4	X .058
5/16	X .028	5/8	X .058	1	X .120	1-1/2	X .083	2-1/4	X .083
5/16	X .035	5/8	X .065	1	X .125	1-1/2	X .095	2-1/4	X .120
5/16	X .049	5/8	X .083	1	X .156	1-1/2	X .120	2-1/4	X .250
5/16	X .058	5/8	X .095	1	X .188	1-1/2	X .188	2-1/4	X .375
5/16	X .065	5/8	X .120	1	X .219	1-1/2	X .250	2-1/4	X .500
5/16	X .074	5/8	X .134	1	X .250	1-1/2	X .281	2-3/8	X .095
5/16	X .083	5/8	X .156	1-1/16	X .049	1-1/2	X .375	2-3/8	X .250

**Fig. 64 – Tubagens e Características dos Produtos Vendidos pela TW Portugal [9];**

O.D. (In.)	Wall (In.)	Wt./ Ft.	Part No.	Price/Ft.
3/8 X 3/8	.049	0.217	03-12100	\$9.99
1/2 X 1/2	.035	0.221	03-12200	\$6.90
1/2 X 1/2	.049	0.301	03-12300	\$12.95
1/2 X 1	.065	0.606	03-12350	\$6.75
5/8 X 5/8	.035	0.281	03-12400	\$6.50
5/8 X 5/8	.049	0.423	03-12500	\$5.75
5/8 X 5/8	.065	0.388	03-12600	\$10.40
3/4 X 3/4	.035	0.340	03-12700	\$6.25
3/4 X 3/4	.049	0.467	03-12800	\$6.50
3/4 X 3/4	.058	0.545	03-12900	\$8.25
3/4 X 3/4	.065	0.606	03-13000	\$6.75
7/8 X 7/8	.035	0.400	03-13100	\$15.50
7/8 X 7/8	.049	0.550	03-13200	\$11.75
7/8 X 7/8	.065	0.716	03-13300	\$12.40
1 X 1	.035	0.567	03-13400	\$6.10
1 X 1	.049	0.634	03-13500	\$8.25
1 X 1	.065	0.827	03-13700	\$7.50
3/4 X 1-1/2	.049	0.906	03-13900	\$8.95
1 X 1-3/4	.065	1.158	03-13950	\$11.80

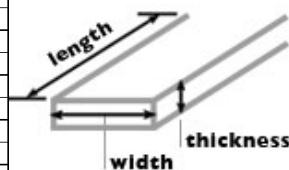


**Fig. 65 – Tamanhos Normalizados Tubos de Secção Rectangular 4130 [10][11][12];**

Quanto às chapas de revestimento do monolugar e de protecção do piloto (Fig. 66), estabeleceu-se que deveriam ser de espessura igual ou superior ao requisito mínimo seguido pelas regras da competição, que é de 1,6 mm (0,063").

AMS spec 4130 Sheet

CODE	SIZE / DESCRIPTION	Metric	Imperial	Sheet Size
RTP025	RACETECH 650 SHEET 'Cond. N'	0.6	.025"	24" x 72"
RTP032	RACETECH 650 SHEET 'Cond. N'	0.8	.032"	24" x 72"
RTP040	RACETECH 650 SHEET 'Cond. N'	1	.040"	24" x 72"
RTP050	RACETECH 650 SHEET 'Cond. N'	1.2	.050"	36" x 72"
RTP063	RACETECH 650 SHEET 'Cond. N'	1.6	.063"	36" x 72"
RTP071	RACETECH 650 SHEET 'Cond. N'	1.8	.071"	36" x 72"
RTP080	RACETECH 650 SHEET 'Cond. N'	2	.080"	36" x 72"
RTP090	RACETECH 650 SHEET 'Cond. N'	2.2	.090"	36" x 72"
RTP100	RACETECH 650 SHEET 'Cond. N'	2.5	.100"	36" x 72"
RTP125	RACETECH 650 SHEET 'Cond. N'	3.1	.125"	36" x 72"
RTP160	RACETECH 650 SHEET 'Cond. N'	4	.160"	36" x 72"

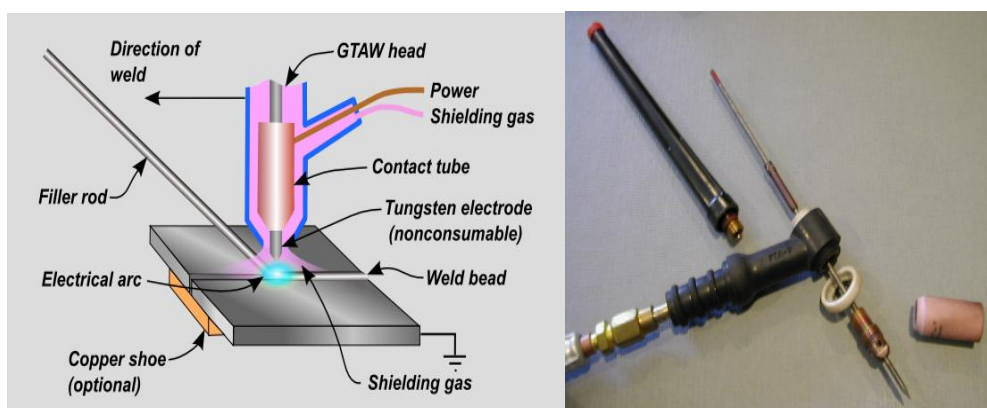


**Fig. 66 – Chapa de Liga De Aço 4130 [13];**

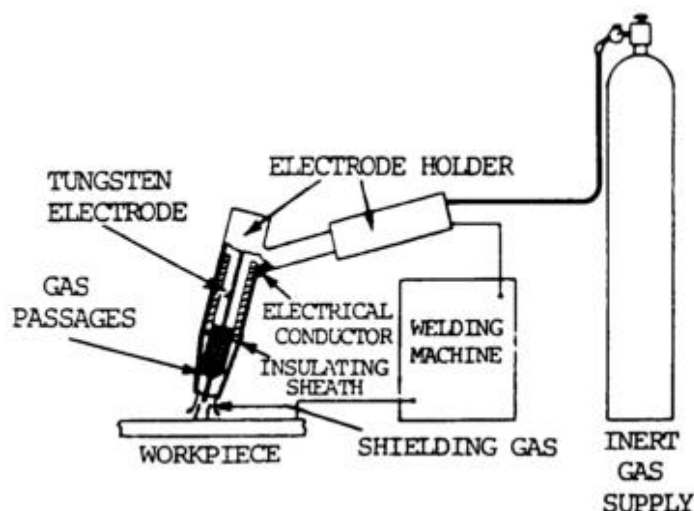
## Processo de Soldadura TIG

O processo de soldadura TIG (Fig. 67) é aquele que mais se adequa ao tipo de material aplicado e à espessura dos tubos e chapas a soldar, permitindo se obter cordões de soldadura de elevada qualidade e com factores de concentração de tensões inferiores aos dos outros processos.

O princípio de funcionamento do processo de soldadura *TIG* (*Tungsten Inert Gas*), ou *Gas tungsten arc welding* (*GTAW*), consiste, num processo de soldadura por fusão que utiliza a energia eléctrica para produzir uma arco eléctrico entre o eléctrodo de tungsténio e o metal de base, depositando metal de adição através da fusão de varetas no arco eléctrico. A protecção gasosa do eléctrodo é feita através de "banho" durante a fusão, nas gotas resultantes e durante a fase de solidificação do cordão. A protecção é obtida através da aplicação do gás de protecção do tipo Inerte, Árgon ou Hélio.



**Fig. 67 – Tocha Usada no Processo de Soldadura TIG[14];**



**Fig. 68 – Esquema Montagem Equipamento Num Processo De Soldadura TIG [14];**

A corrente eléctrica usada durante o processo TIG pode ser: Contínua (DC), Alternada (AC) ou Pulsada (com DC ou AC). Os valores típicos da Diferença de Potencial em soldadura TIG encontram-se apresentados na Tabela 21. Quanto às principais **vantagens** do processo de soldadura TIG, elas são:

- Permite a união de todos os tipos de metais;
- Bom controlo de penetração;
- Usa AC e DC em função do material;
- Baixos níveis de Hidrogénio e não têm escória.

As principais **desvantagens** do processo TIG:

- Comprimento fixo do consumível;
- Baixo rendimento;
- Factor de Marcha;
- Limitado a espessuras de 10 mm;
- Risco de inclusões de tungsténio
- Grande sensibilidade às correntes de ar;
- Custo dos gases de protecção.

**Tabela 21 – Voltagens Típicas Em TIG[15];**  
**Typical Current Ratings for Gas- and Water-Cooled GTAW Torches**

Torch Characteristic	Torch Size		
	Small	Medium	Large
Maximum current (continuous duty), A	200	200-300	500
Cooling method	Gas	Water	Water
Electrode diameters accommodated, in.	0.020 - 3/32	0.040 - 5/32	0.040 - 1/4
Gas cup diameters accommodated, in.	1/4 - 5/8	1/4 - 3/4	3/8 - 3/4

**Tabela 22 – Eléctrodos Tungsténio Recomendados No Processo de TIG [15];**  
**Recommended Tungsten Electrodes<sup>a</sup> and Gas Cups for Various Welding Currents**

Electrode Diameter		Use Gas Cup I.D. in.	Direct Current, A		Alternating Current, A	
			Straight Polarity <sup>b</sup>	Reverse Polarity <sup>b</sup>	Unbalanced Wave <sup>c</sup>	Balanced Wave <sup>c</sup>
			DCEN	DCEP		
0.010	0.25	1/4	up to 15		up to 15	up to 15
0.020	0.50	1/4	5-20		5-15	10-20
0.040	1.00	3/8	15-80		10-60	20-30
1/16	1.6	3/8	70-150	10-20	50-100	30-80
3/32	2.4	1/2	150-250	15-30	100-160	60-130
1/8	3.2	1/2	250-400	25-40	150-210	100-180
5/32	4.0	1/2	400-500	40-55	200-275	160-240
3/16	4.8	5/8	500-750	55-80	250-350	190-300
1/4	6.4	3/4	750-1100	80-125	325-450	325-450

Segundo alguns autores, a taxa de débito do gás de protecção para processos de soldadura TIG deverá estar compreendida entre 8 a 14 L/min [16], enquanto outros autores aconselham como valores adequados de 7 a 13 L/min [17].

### **Metal de Adição para o Aço 4130:**

Weld Schedule Information	
Parent material:	4130
Material condition:	Condition (N)
Material thickness:	0.035-in. wall thickness
Filler material:	AWS ER70S-2, 0.035-in. dia.
Joint type:	(Cluster) Fillet
Joint prep:	Abrasive clean/acetone wipe
Joint gap:	0.000-0.010 in.
Current type:	DCEN
Amperage:	0-40 amps
Voltage:	9-12 volts
Torch type:	LA-9 or LW-20 Magnum
Cup size:	Gas lens, 3/16-in. orifice
Cup type:	Ceramic
Tungsten type:	2-percent thoriated
Tungsten size:	3/16-in. dia.
Tungsten shape:	Pointed
Torch gas:	Argon
Flow rate:	15-25 CFH
Backup gas:	Argon
Flow rate:	5-10 CFH
Tacking sequence:	4-PLCS (min.)

**Fig. 69 – Parâmetros de Referência Numa Soldadura TIG Num Aço 4130 [20];**

Foi escolhido um material de adição apropriado ao tipo de material usado no chassis do veículo, o qual deverá ter um diâmetro de até 70% da espessura média da chapa do material a soldar.

Para o aço de liga AISI 4130, considerando que o processo de soldadura a ser aplicado é o TIG, verificou-se que o metal de adição adequado para efectuar a união dos elementos estruturais é o **AWS ER 70 S-2**, com varetas de diâmetro 1,6 mm (1/16" ou 0,062"). O gás de protecção a utilizar deverá ser o Argon e a gama de amperagem de trabalho deverá estar compreendida entre os 50 e os 160 A [18] [19].

Recommended Alternate Filler Materials				
Type of Application	1st option filler	2nd option filler	3rd option filler	Elongation
NHRA and/or high-performance dragsters	ER70S-2	ER70S-6	ER80S-D2	17-22%
Indy cars, CART cars, semi-rigid applications	ER80S-D2	ER70S-2	ER70S-6	17-22%
Experimental airplanes, NASCAR, sprints, midgets, go-carts, motorcycles, bicycles	ER70S-2	ER70S-6	ER80S-D2	17-22%

**Fig. 70 – Metal de Adição Recomendado Para A Liga Aço 4130 [20];**

Estas varetas são vendidas em embalagens com a massa 10 lb (4,54 kg) com um custo em dólar de \$45,00 (30,60 €), a valores de 2009.

ALLOY & UNIT		TIG FILLER CUT LENGTHS 36" LONG DIAMETER, PART NUMBER & PRICE PER UNIT TYPE											
		.030		.035		.045		1/16		3/32		1/8	
70S-2	1lb pack	70S2030-1	\$9.00	70S2035-1	\$8.00	70S2045-1	\$7.50	70S2116-1	\$7.00	70S2332-1	\$7.00	70S2018-1	\$7.00
	10lb pack	70S2030-10	\$80.00	70S2035-10	\$70.00	70S2045-10	\$65.00	70S2116-10	\$45.00	70S2332-10	\$40.00	70S2018-10	\$40.00
70S-3	1lb pack							70S3116-1	\$4.95	70S3332-1	\$4.95	70S3018-1	\$4.95
	10lb pack							70S3116-10	\$35.00	70S3332-10	\$35.00	70S3018-10	\$35.00
70S-6	1lb pack			70S6035-1	\$3.95	70S6045-1	\$3.75	70S6116-1	\$3.50	70S6332-1	\$3.25	70S6018-1	\$3.25
	10lb pack			70S6035-10T	\$35.50	70S6045-10T	\$33.00	70S6116-10	\$29.90	70S6332-10	\$29.90	70S6018-10	\$29.90

**Fig. 71 – Preço das Varetas de 10 lb de Metal de Adição 70S-2 para aço 4130 [21];**

A título de curiosidade ou para auxílio no processo de soldadura TIG encontram-se em [22] [23] [24] dados informativos importantes acerca do processo.

### **Metal de Adição para o Aço AISI 4340:**

Apesar de se tratar de um material passível de grandes alterações das propriedades mecânicas na zona afectada pelo calor [25], o metal de adição recomendado neste aço de alta liga é o **DCMS-IG (ER80S-G)** [26], para um processo de soldadura TIG. A realização do cordão de soldadura deverá ser precedida por um pré-aquecimento do material base até aos 300 a 400 °C e, após a soldadura, deverá ser feito um tratamento térmico durante 1h a uma temperatura no intervalo compreendido entre 500 a 650 °C [26].

Os parâmetros de soldadura para este material base (Fig. 72), com vareta de 1,6 mm, são uma voltagem 20 a 22 Volt, amperagem de 200 a 250 A e gás de protecção mistura de argon + 15 a 25 % CO<sub>2</sub> ou 100 % de CO<sub>2</sub> [27] [28].

WELDING PARAMETERS			
Size	Volts	Amps	Shielding Gas/Flux
MC-G .045"	18-30	150-250	CO <sub>2</sub> or Ar-CO <sub>2</sub> mixtures
MC-G 1/16"	20-22	200-250	CO <sub>2</sub> or Ar-CO <sub>2</sub> mixtures
FC-G 3/32"	26-29	250-350	CO <sub>2</sub> or Ar-CO <sub>2</sub> mixtures
FC-S 1/16"	25-27	150-250	Lincoln 880
FC-S 3/32"	29-31	300-400	Lincoln 880
FC-S 1/8"	29-31	350-450	Lincoln 880

**Fig. 72 – Parâmetro de Soldadura Para o Aço 4340 [28];**

### **Ensaio de Inspeção Não-Destrutivos (END):**

Os Ensaio Não Destrutivos (END), são ensaios realizados em materiais acabados ou semi-acabados para verificar a existência ou não de descontinuidades e ou defeitos. Baseiam-se em princípios químico-físicos definidos, sem alterar suas características físicas, químicas, mecânicas, dimensionais e forma da peça analisada não interferindo no seu uso posterior.

Constituem uma das principais ferramentas do controle de qualidade dos materiais e produtos, contribuindo na garantia de qualidade, na redução de custos e aumento da fiabilidade do produto. Os ensaios de inspecção não destrutiva são utilizados na fabricação, na montagem, na inspecção e manutenção, sendo largamente aplicados na inspecção de cordões de soldadura, peças fundidas, forjadas, laminadas, plásticos, e betão, entre outros produtos das diversas áreas de produção e manutenção.

Os *END* incluem métodos capazes de proporcionar informações a respeito do quantidade e tipos dos defeitos num determinado produto, das suas características, ou ainda, na monitorização da degradação em serviço dos componentes, peças, equipamentos e estruturas.

Os métodos mais usuais de *END* são: a inspecção visual, os líquidos penetrantes, as partículas magnéticas, os ultra-sons, a radiografia (por Raios X e Gama), as correntes parasitas, a análise de vibrações e a termografia.

A **inspecção visual** poderá ser efectuada antes de proceder à soldadura de modo a verificar a limpeza das superfícies de ligação permitir uma união livre de inclusões. Durante o processo de soldadura poderá se monitorizar permanentemente com auxílio de lupas, espelhos e endoscópios, se necessário. Pretende-se verificar a conformidade dimensional do cordão de soldadura, os aspectos de da soldadura (rugosidade e limpeza), a existência de faltas de enchimento, fendas e porosidades ou inclusões. A **inspecção pelo método de líquidos penetrantes** é efectuada após o processo de soldadura para não se permitir o risco de efectuar uma montagem de conjunto com defeitos de soldadura, colocando no futuro o risco na integridade do chassis e ou em última instância do piloto. Através deste método consegue-se detectar descontinuidades de grande e pequena dimensão, inferiores a 0,01 mm, em peças pouco porosas. Inclui-se em peças com geometria complexa e com a possibilidade de pequenas descontinuidades, como as que poderam existir neste chassis, o método é eficaz sempre que se trate de situações superficiais. Não podendo verificar a falta de enchimento de soldadura por baixo da superfície do cordão, como é possível através de raio x ou gama, sendo este último mais caro e perigoso. Tem como inconveniente o facto de ser um processo lento. Mas no entanto é barato e versátil, não precisando de grande qualificação por parte do operador. É também um processo que pode ser usado em inúmeras situações, visto ser um equipamento portátil.

O método de líquidos penetrantes consiste na aplicação de um líquido que penetra as descontinuidades do material por capilaridade numa superfície limpa de contaminantes. Deve-se ter cuidado no manuseamento dos materiais penetrantes, emulsificadores e reveladores, devido ao facto de estes serem tóxicos. A classificação dos vários líquidos penetrantes é feita de acordo com dois critérios: quanto ao tipo de pigmento utilizado ou em função do processo de remoção. O líquido penetrante deverá ter uma capacidade de capilaridade elevada, não ser volátil, ter contraste de cor ou ser sensível à luz ultravioleta e não poderá ser corrosivo. No caso de não ser possível retirar toda a luz visível para aplicação de líquidos sensíveis à luz ultravioleta, poderá se aplicar líquidos fluorescentes.

Por uma questão prática aconselha-se o uso de um penetrante pós-emulsificável, sendo apenas removido com água quando se aplica um produto emulsificante que remove o excesso de penetrante, transformando-o numa mistura emulsionante. Pela classificação ASTM trata-se de um processo B-2 (método B, tipo2).

O método de líquidos penetrantes tem as seguintes características:

- Viscosidade, um penetrante muito viscoso pode não penetrar nas descontinuidades, deverá usar-se um penetrante com uma viscosidade inferior a 5 centistokes;
- Ponto de inflamação, de forma a prevenir inflamações durante a manipulação do penetrante, deverá ter um ponto de inflamação mínima de 50°C;
- Volatilidade, deve ter uma volatilidade baixa;



- Estabilidade térmica, a temperatura de armazenamento deverá ser inferior a 60°C, para que os pigmentos não percam a cor;
- Inércia química, o penetrante deverá ser compatível com os materiais;
- Solubilidade, ou facilidade de remoção e resistência à água, os componentes do penetrante são derivados de petróleo que devem dissolver os pigmentos de tal forma que não se verifique separação dos constituintes durante o manuseamento e armazenamento;
- Toxicidade, o operador deve usar luvas e aventais devido à toxicidade dos componentes.

Como se vai utilizar um processo de soldadura com baixa sensibilidade o penetrante deverá ser de nível 1, pois as soldaduras são bastante rugosas. Antes de iniciar o processo é feita uma limpeza ácida e com solventes para impedir a contaminação do penetrante com óleos, calaminas, tintas, água, humidade, óxidos e resíduos do processo inicial de limpeza. Posteriormente o penetrante é aplicado por aspersão visto ser uma superfície pequena.

O tempo de penetração é dependente do tipo de descontinuidade (quanto mais fina, maior o tempo), da limpeza prévia, da sensibilidade do penetrante, (se o contaminante for solúvel no penetrante) e da temperatura (o aumento de temperatura baixa o tempo de penetração, sendo recomendável colocar as peças a uma temperatura de pelo menos 20°C).

A remoção do penetrante depende do tipo de penetrante, das descontinuidades, do estado e geometria da superfície. Dado que se optou pela aspersão recomenda-se o uso de emulsificadores hidrófilos.

Após os procedimentos anteriores, procede-se à secagem da peça com um secador de ar quente, aplicando-se posteriormente também por aspersão, um revelador húmido não aquoso (imiscível em água). A revelação poderá ser mais demorada dependente do tamanho das descontinuidades.

A inspecção é feita por inspectores, com as mãos e roupa limpas de impurezas, e a classificação das indicações deverá de ter em conta a forma, origem e tipo das descontinuidades (Tabela 23).

**Tabela 23 – Tipos de Descontinuidades em Soldadura [29];**

Descontinuidades		
Elaboração do metal	Processo de fabrico da peça	Serviço
Porosidade	Porosidade	Fissura por fadiga
Inclusões	Inclusões	
Rechupes	Dobras	Fissuras por corrosão sob tensão
Segregações	Fissuras	
Fissuras por contracção	Faltas de fusão Gotas frias Folheamento Fracturas	

Os resultados devem ser registados em fotografia, usando filtros e tempos de exposição adequados, recomendando-se a utilização de uma filme preto e branco.

Após a inspecção deve-se limpar devidamente as peças e o equipamento de forma a remover o penetrante e primordialmente o revelador na sua totalidade, pois é um produto bastando corrosivo e com uma grande aderência. Deve-se usar produtos de limpeza alcalina, detergentes e solventes.

Estes produtos tem de sofrer um rigoroso controlo de qualidade pois são facilmente evaporáveis e degradáveis ao longo do tempo, pela acção do calor, contaminação por água, materiais orgânicos e sujidade provenientes da peça a inspeccionar.



## **IX. PLANEAMENTO DO PROCESSO DE FABRICO (PRODUÇÃO) E ORÇAMENTAÇÃO:**

O processo de fabricação é composto essencialmente pelas seguintes fases com os seguintes documentos associados:

- Preparação do material e ferramentas para o fabrico, consumíveis, etc., efectuado pelo preparador de trabalho:
  - Preparação de folhas de fabrico (planos fabrico, desenhos fabrico, etc.);
  - Preparação de Matéria-prima efectuada no armazém (notas de encomenda, guias de remessas, fichas de controlo de equipamento, etc.).
- Corte do Material efectuado pelo operador de máquinas com base em folhas de corte;
- Maquinação (Calandragem), pelo operador de máquinas, com base numa folha de fabrico onde pormenoriza os raios de calandragem;
- Montagem, pelo serralheiro, de acordo com os desenhos de montagem;
- Soldadura, efectuada pelo soldador, de acordo com os processos de soldadura implementados na empresa e os requisitos de soldadura do desenho de fabrico;
- Tratamento de Superfície, efectuado pelo pintor, bate chapas e ou serralheiro de acordo com a folha de fabrico (decapagem, pintura, metalização, lacagem, amonização, etc.).

Toda esta documentação se deverá encontrar numa pasta de fabrico entregue à Produção que é distribuída de acordo com a fase em que se encontra o fabrico. Quando entregue na produção é registado a data de entrada na produção, faz-se um planeamento da produção e uma estimativa de entrega ou conclusão do produto de acordo com o tempo estimado em cada uma das fases produtivas. Com o avanço da produção é registado a data de entrada e saída de cada fase do processo produtivo, de forma a criar um registo ou uma rastreabilidade e controlo da qualidade em cada fase pela verificação da conformidade do produto, controlo dos tempos de processo e responsabilização da qualidade do produto pelos intervenientes. Assim deverá ser rubricada uma folha de controlo por parte do controlador ou verificador e do executante da tarefa. No caso de as peças serem soldadas, o soldador marca as peças por si soldadas com a primeira letra do primeiro e último nome e data da soldadura com um marcador para chapa. Resulta assim um registo de trabalhos efectuados pelo soldador que poderá ser incluído no registo de soldadura para revalidação da sua certificação como soldador.

Todas as peças ou componentes devem ser marcadas com marcador de chapa, ou etiquetadas, desde a matéria-prima até à finalização do produto, de forma a serem rapidamente identificáveis e evitem-se enganos, ou trocas no fabrico.

No departamento onde se efectua concepção, desenho, planeamento e gestão de obra, o qual se poderia chamar departamento de engenharia (DE), deverá elaborar-se uma árvore de produto, que permitirá a gestão de desenhos, de peças e planear a atribuição de desenhos a vários preparadores de trabalho (desenhista).

Através do número funcional de cada componente pode-se identificar mais rapidamente a importância funcional de cada componente e as suas inter-relações. De acordo com a figura de árvore de produto, verifica-se que os componentes a fabricar aparecem na cor vermelha, enquanto os componentes a adquirir encontram-se na cor de letra azul.



**Fig. 73 – Árvore de Produto do Veículo;**

O preço final de um produto depende dos custos resultantes do seu fabrico e entrega ao cliente. No caso do veículo de tipo *Formula Student* os custos estimados inerentes ao seu fabrico são:

- Material aplicado (tubagem), consumíveis, material de adição, acessórios;
- Custo trabalho de homem ou homens envolvidos no fabrico directamente ou indirectamente;
- Custo da máquina por hora, consoante o consumido de electricidade, de consumíveis, manutenção correctiva e preventiva prevista.

As entradas no cálculo de custos de fabrico são:

- Custo de Trabalho de Homem;
- Custo de Electricidade de Consumo de Equipamento;
- Custo de Materiais;
- Custo de Aquisição de Equipamento com vista a amortizar em balancete de empresa num prazo de 5 anos (custo de aluguer indirecto);
- Custo de Instalações.

## **CUSTO DO TRABALHO DO OPERADOR:**

Considerando o horário de trabalho diário normal com 8 horas/dia de trabalho, numa semana correspondem a 40 horas/semanais, ao mês correspondem a 160 horas/mês e finalmente anualmente são 1.920 horas/ano.

Através de tabelas salariais referentes ao ano de 2008, para um serralheiro de 1.<sup>a</sup>, o salário mínimo de referência é de 531,50 €/mês, mas considera-se que na realidade obtêm 800 €/mês [30] [31]. Como durante um mês trabalha 160 horas/mês, o custo do homem aplicado ao produto é de 5 €/hora, sem considerar o subsídio de alimentação de 3,95 €/dia, mais o 13.<sup>o</sup> mês anuais e subsídio de férias. Considerando o décimo terceiro mês correspondente ao subsídio de natal (800 €), isso perfaz um rendimento anual do trabalhador de 10.400 €/ano [32]. Considerado que o trabalhador não faltou, terá 25 dias de férias para o cálculo do subsídio de férias. Como o salário do trabalhador é de 40 €/dia, anualmente recebe de subsídio de férias 1.000 € [33]. O que contabiliza o total de 11.400 €/ano.

Sabendo que um mês tem em média 22 dias de trabalho, num ano têm-se 264 dias de trabalho ano, estima-se que subsídio de almoço anual será de 1.042,80€.[31]. Pelo que na totalidade com o subsídio de almoço recebe 12.442,80 €/ano. Conclui-se assim que o trabalhador tem um custo de **6,48 €/hora**, desprezando os demais custos não contabilizados.

## **CUSTOS DE ELECTRICIDADE E CONSUMO:**

Antes da apresentação do cálculo dos consumos de electricidade, é necessário definir o equipamento necessário ao fabrico e os seus consumos eléctricos. Essencialmente, para o fabrico do chassis serão necessários três máquinas-ferramentas. Para efectuar o corte, a maquinação e a ligação dos elementos estruturais através do processo de soldadura. Pelo que será necessário um serrote de fita, uma máquina de dobrar tubagens e uma máquina de soldar a TIG. O serrote de fita servirá para cortar os perfis; a máquina de dobragem de tubos para efectuar os dois arcos e a máquina de soldar para efectuar a união dos elementos estruturais. Despreza-se assim o corte da chapa para o revestimento do monolugar.

O preço médio da electricidade a clientes finais de média tensão é de 0,1006 €/kWh [34], sendo este o valor que vai servir de orientação aos cálculos seguintes, relativos aos custos em electricidade nas três fases seguintes de produção que fazem recurso da energia eléctrica.

### **SERROTE DE LÂMINA DE FOLHA:**

Tendo em consideração o material a cortar, a cadência de corte e a quantidade de material a cortar, o equipamento que mais se adequa à tarefa é um serrote eléctrico com lâmina de folha. Tendo uma bancada com torno mecânico e a velocidade de corte pré-definida, permite o corte em segurança, com estrias uniformes, força de pressão da lâmina controlada, assim como a velocidade de maquinação.



**Fig. 74 – Serrote Fita [35];**

Work Material Type	Steel Specification USA (AISI)	Feet per Minute	Meters per Minute	Sq Inch per Minute	Sq cm per Minute	<b>Especificações técnicas:</b>
Free Machining Carbon Steels	1211-1215	230 - 310	69 - 93	12 - 18	76 - 117	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ <i>Tensão:</i> 230 V ~ 50 Hz</li> <li>➤ <i>Potência:</i> 550 Watts</li> <li>➤ <i>Velocidade Do Motor:</i> 1.470 rpm</li> <li>➤ <i>Comprimento fita da serra:</i> 1640 mm</li> <li>➤ <i>Largura da fita de serra:</i> máx. 13 mm / 14 dentes</li> <li>➤ <i>Velocidade da fita de serra:</i> 20-30-50 m/min.</li> <li>➤ <i>Altura do corte:</i> Ø 100 mm / 100 x 150 mm Ø 70 mm / 85 x 65 mm</li> <li>➤ <i>Cabeça da máquina inclinável:</i> 0-45°</li> <li>➤ <i>Apoio da peça:</i> 620 x 350 mm</li> </ul>
	1110, 1117-1118	220 - 300	66 - 90	9 - 15	58 - 97	
	1137-1151	165 - 245	50 - 74	5 - 11	32 - 71	
Low Carbon Steels	1005-1012	220 - 300	66 - 90	9 - 14	58 - 97	
	1015-1026	210 - 290	63 - 87	8 - 13	52 - 91	
Medium Carbon Steels	1030-1055, A36	140 - 220	42 - 66	5 - 9	32 - 58	
		140 - 220	42 - 66	5 - 9	32 - 58	
		140 - 220	42 - 66	5 - 9	32 - 58	
		140 - 220	42 - 66	5 - 9	32 - 58	
High Carbon Steels	1060-1095	120 - 200	36 - 60	5 - 8	32 - 52	
		120 - 200	36 - 60	5 - 8	32 - 52	
Manganese Steels	1330-1345	140 - 220	42 - 66	4 - 8	26 - 52	
	1513-1527	220 - 300	66 - 90	8 - 12	52 - 91	
	1536-1552	165 - 245	50 - 74	6 - 10	39 - 65	
	1561-1572	120 - 200	36 - 60	5 - 8	32 - 52	
Molybdenum Steels	4012-4024	150 - 230	45 - 69	4 - 9	26 - 58	
	4030-4042	140 - 220	42 - 66	4 - 8	26 - 52	
	4047-4058	130 - 210	39 - 63	4 - 8	26 - 52	
Chrome Moly Steels	4130-4140	130 - 210	39 - 63	4 - 8	26 - 58	
		130 - 210	39 - 69	4 - 8	26 - 58	
	4142-4161	120 - 200	36 - 60	3 - 7	20 - 45	
Nickel Chrome Moly Steels		120 - 200	36 - 60	3 - 7	20 - 45	
	4320	130 - 210	39 - 63	4 - 8	26 - 52	
	4340	120 - 200	36 - 60	3 - 7	20 - 45	

**Fig. 75 – Características Técnicas do Serrote de Fita [36][37];**

Para se orçamentar o serrote de folha é necessário saber o número de cortes a efectuar, para se poder calcular o tempo gasto nesta fase de produção. Com base no desenho do chassis do veículo (ver Anexo XII.G) contabilizou-se quantos elementos existiam e deste modo o número de cortes a efectuar. Ao total retira-se a quantidade de extremidades dos elementos de matéria-prima, necessitando-se para tal de saber a dimensão dos elementos de matéria-prima. Estes deverão ser adquiridos consoante a dimensão do maior elemento estrutural. Com o tempo total gasto nesta fase de fabricação e a tarifa de electricidade, pode-se saber o custo total desta fase de fabricação (Tabela 24).

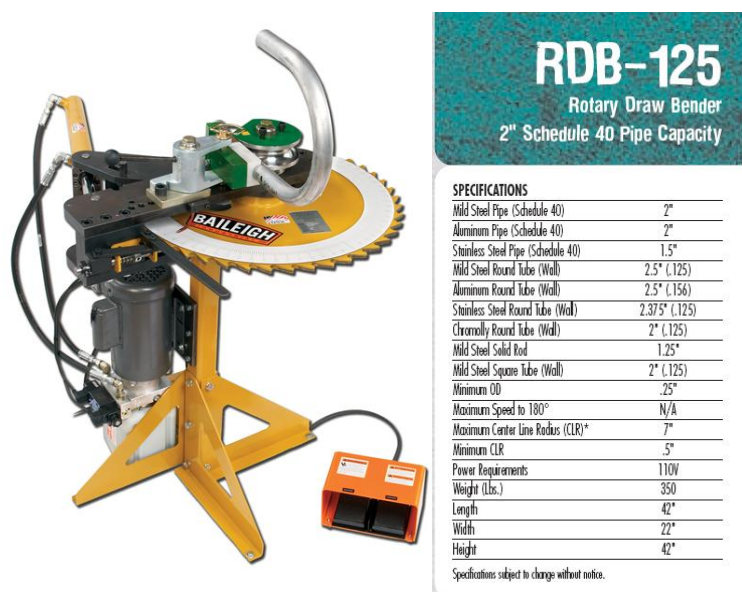
**Tabela 24 – Custo de Electricidade na Fase de Fabrico de Corte [38];**

<i>Fase de Fabricação Corte</i>	
Número de Elementos	141 unid.
Tam. do Maior Elem.	2.222 mm
Tam. Min. da Matéria Prim.	3.000 mm
Núm. Cortes A Efectuar	141 cortes
Tempo Gasto	30 horas
Custo Total Eléctrico	1,651 €

Pela tabela anterior conclui-se que os gastos eléctricos na fase de corte são no valor de 1,651€, que ainda falta acrescentar as seguintes fases de fabricação e a amortização para se definir o salário hipotético de aluguer do equipamento. Este trata-se de um custo indirecto relativo à utilização.

### **MÁQUINA HIDRÁULICA PARA DOBRAGEM DE TUBOS:**

Como o ângulo de encurvamento e a uniformidade da curvatura são parâmetros críticos na construção dos arcos de protecção do piloto aplicados, torna-se importante escolher o equipamento adequado ao encurvamento dos elementos tubulares. Apesar de existir equipamento manual que poderá efectuar as mesmas tarefas, foi escolhido um equipamento eléctrico, de forma a controlar a força aplicada numa quantidade controlada de tempo, para permitir a repetibilidade e garantia da resistência mecânica adequada.



**Fig. 76 – Máquina para dobragem de tubos;**

Durante esta fase de maquinação do encurvamento é necessário contabilizar o número de encurvamento necessários efectuar, de forma a contabilizar o tempo gasto nesta fase de processo e aferir o custo de electricidade que vai entrar como custo de produção. Através dos dados retirados do manual do equipamento e sabendo que se vai efectuar 5 encurvamentos pode-se construir a tabela seguinte:

**Tabela 25 – Custo de Eléctrico na Fase de Encurvamento;**

<i>Fase de Fabricação Dobragem</i>	
Núm. de Elem. Curvos	5 unid.
Tempo Total Gasto	200 s
Custo Total Eléctrico	0,003 €

Conclui-se assim que os gastos relativos à energia eléctrica são da ordem dos 0,003 €, o que traduz que esta fase de produção não é crítica em custos energéticos, dependendo das quantidades a produzir.

### **MÁQUINA DE SOLDAR TIG:**

Tendo em consideração que este é um factor crítico no processo e aquele que irá determinar um acréscimo significativo no custo global do projecto, não só por requerer um técnico especializado que requer, mas também pelo custo de consumo eléctrico e pela quantidade de cordões de soldadura de boa qualidade necessárias (alguns dos quais em posições de difícil acesso).

De acordo com os manuais do equipamento e características técnicas evidenciadas pelos fornecedores, reuniu-se os dados contidos na tabela em baixo que nos permite a estimativa do custo de energia eléctrica consumida pelo equipamento [41] [42].

**Tabela 26 – Custo de Eléctrico na Fase de Soldadura;**

<i>Fase de Fabricação Soldadura</i>	
Núm. De Uniões	282 uniões
Perímetro Elipse	97,73 mm
Perímetro Total Sold.	27.559,42 mm
Tempo Total Gasto	10 horas
Custo Total Eléctrico	2,834 €



**1**

**CITIG 1500 DC**

**5 product advantages:**

- HF striking
- simple welding cycle: pre-gas, slope-down and post-gas adjustable on the front panel
- MMA or TIG DC modes
- 2T-4T modes
- over heating thermal protection



**To order**

- **Standard equipment:**
  - 1 CITIG 1500 DC
  - 1 primary cable L = 3.5 m with SCHUKO plug
  - 1 earth cable L = 3 m with earth clamp and DINSE connector
  - 1 equipped gas hose L = 3 m
- **Cat. no. W 000 260 967**
- **Add-ons:**
  - CITORCH T 20 EB C5B 5 m torch
  - Cat. no. W 000 265 529
  - CITORCH T 20 EB S 5 m torch
  - Cat. no. W 000 265 546
  - Accessory kit MMA 25C50
  - Cat. no. W 000 260 684
- **Options:**
  - Maintenance box for:
  - CITORCH T 20
  - Cat. no. W 000 306 448

Com base na quantidades de uniões necessárias (XII.G) e estimando que em todas as soldadura existe um cordão de soldadura de perímetro elíptico, caso mais desfavorável, estimou-se o comprimento de cordão necessário para a construção do chassis. Considerando que o cordão de soldadura teria um avanço de depósito de metal de adição médio de 45 mm/min (tendo em consideração que 315 mm demoram em média 7 minutos por passagem) e que o preço médio da electricidade para clientes finais de média tensão é de 0,1006 €/kWh, pode determinar que o custo total nesta fase de fabricação em electricidade é de € 2,834€.

Visto o factor de complexidade dos cordões de soldadura não se encontrar considerado nesta estimativa e ser de difícil contabilização, pois cada cordão de soldadura é um caso particular. O tamanho pequeno do cordão, e os difíceis acessos da tocha devido aos múltiplos cruzamentos de elementos poderá dificultar em muito a tarefa do soldador e diminuir a velocidade de depósito antes referida. Desta forma traduzir-se-á num aumento do tempo de fabrico previsto e, consequentemente, no aumento dos custos de fabrico. Não havendo dados empíricos que ajudem na fundamentação vai-se agravar o orçamento em 15%. Sendo assim o custo total de energia eléctrica gasto nesta fase de produção é 3,26 €.

Technical specifications	<b>1 CITIG 1500 DC</b>
Power supply	230 V (± 10%) 50-60 Hz single-phase
Primary consumption at I max.	20 A
Effective consumption	12 A
Open circuit voltage	85 V
Welding current	5 - 150 A
Protection class	IP 23
Insulation class	H
Duty cycle 10 min. cycle (at 40 °C)	at 100% 100 A at 60% 120 A at 35% 150 A
Electrode diameter max.	4.0 mm
Dimensions (L x W x H)	420 x 175 x 300 mm
Net weight	10 kg
Standards	EN 60974-1; EN 60974-10
Torch types	C5B - S families

**Fig. 77 – Máquina de Soldar TIG [43];**

**Tabela 27 – Características Relevantes do Equipamento de Produção:**

<i>Equipamento</i>	<i>Descrição</i>	<i>Preço Euros</i>	<i>Potência [W]</i>	<i>Velocidade de Produção</i>
Einhell MBS 400	Serra de fita corte metal	301,50 €	550	50 m/min
Baileigh RDB-150	Máquina de Dobrar Tubos Hidráulica	4.405,09 €	550	10 s/unid
Baileigh RDB-125	Máquina de Dobrar Tubos Hidráulica	2.977,29 €	550	40 s/unid
Oerlikon Citig 1500DC Inverter	Máquina de Soldar Rectificadora TIG	920,00 €	2.760	45 mm/min

Deve-se referir que o equipamento de dobrar tubos hidráulico, Baileigh RDB-150, encontra-se na tabela de forma a servir de comparação com o Baileigh RDB-125 de forma a se verificar qual o efeito de aplicação de um equipamento quase duas vezes mais caro no orçamento.



**Tabela 28 – Custos Em Electricidade Na produção;**

<i>Custo De Fabrico Em Electricidade</i>	
Fase de Corte	3,935 €
Fase de Encurvamento	0,003 €
Fase de Soldadura	3,269 €
Total Gastos	4,923 €

1.000 Veículos  
4.923,21 €

É importante concluir com que o custo total deste projecto em energia eléctrica será na totalidade de 4,923€, na produção de 1000 unidades corresponde a 4.923,21€, o que demonstra que é um valor a considerar no custo total do projecto de fabricação deste veículo.

### **CUSTO DE AQUISIÇÃO AMORTIZADO NO PROJECTO:**

Considerando que o custo do equipamento deve ser amortizado no custo de projecto, estimou-se que este deveria ser amortizado num prazo de 5 anos como habitualmente efectuado nas empresas. Com os dados adquiridos na pesquisa do equipamento adequado ao trabalho, consultou-se cotação para os equipamentos em questão o que resultou na seguinte tabela:

**Tabela 29 – Custo de Amortização Do Equipamento Em 5 Anos, Manutenção e Aluguer;**

<i>Equipamento</i>	<i>Descrição</i>	<i>Valor Anual de Amortização</i>	<i>Custo Hora Amortização</i>	<i>Custo Amort. Por Fase</i>	<i>Custo Hora Manutenção</i>	<i>Custo Manut. Amort. Hora</i>	<i>Custo Manut. Amort. Total</i>	<i>Cust. Salário Hora</i>	<i>Cust. Salário Total</i>
Einhell MBS 400	Serra de fita corte metal	60,30 €	0,03 €	0,94 €	0,00620 €	0,03760 €	1,2222 €	7,54 €	224,96 €
Baileigh RDB-150	Máquina de Dobrar Tubos Hidraulica	881,02 €	0,46 €	0,03 €	0,09052 €	0,54938 €	0,03052 €	110,13 €	6,12 €
Baileigh RDB-125	Máquina de Dobrar Tubos Hidraulica	595,46 €	0,31 €	0,02 €	0,06118 €	0,37131 €	0,02063 €	74,43 €	4,14 €
Oerlikon Citig 1500DC Inverter	Máquina de Soldar Rectificadora TIG	184,00 €	0,10 €	0,98 €	0,01890 €	0,11474 €	1,17115 €	23,00 €	234,77 €
Total:		839,76 €		1,93€		2,34 €			469,98 €

Os custos de manutenção estabelecem-se tipicamente em 30% do custo de equipamento repartido pelos 5 anos de amortização. Quanto ao salário de aluguer do equipamento é norma actualmente aplicar-se um valor que ronda os 2,5% do valor de aquisição do equipamento.

Deste modo conclui-se que os custos de manutenção mais os de amortização são de apenas 3,45€, que comparado com os tipicamente de salários de equipamento são de 469,98€ em todo o projecto.

### **CUSTO DOS MATERIAIS:**

Tendo em consideração que o material a escolher é a liga de aço AISI 4130 ou o aço ligado AISI 4340, com dimensões  $\phi 25,4 \times 2,4 \text{ mm}$   $\phi 1'' \times 0,095''$ , e que :  $1'' = 25,4 \text{ mm}$ ,  $1 \text{ ft} = 304,8 \text{ mm}$  e considerando a taxa de câmbio da actualidade de  $1 \text{ €} = \$ 1,4708$ , pode calcular-se que 1 m de tubo de aço AISI 4130 custa cerca de 11,04 € e que 1 m de tubo de aço AISI 4340 custa 29,38 € (Tabela 30).

**Tabela 30 – Comparação entre Preços de Tubos de Secção Circular: Aço 4130 vs. 4340 [10][11][12];**

Dimensões: $\square 25,4 \times 2,4 \text{ mm}$ ou $\square 1'' \times 0,095''$							
	<i>Preço Dolar/1ft</i>	<i>Preço Euro/1ft</i>	<i>Preço Euro/metro</i>	<i>Preço Barra Dolar/1ft</i>	<i>Unid.</i>	<i>Quant. Total metros</i>	<i>Custo Total</i>
<b>Liga de Aço 4130</b>	\$4,95	3,37 €	11,04 €	\$5,60		52,127	575,58 €
<b>Liga de Aço 4340</b>	\$13,17	8,95 €	29,38 €	\$14,90		52,127	1.531,45 €
Taxa de Câmbio Dolar/Euro		\$1,4708	1 ft = 304,8 mm	304,8	mm		

Sabendo o total de metro linear de tubo de secção circular necessário à construção do chassis do veículo da solução 3, sabemos que o custo de matéria para o aço 4130 e do aço 4340 na produção do veículo. Assim conclui-se que o custo em matéria-prima de tubo de secção circular para o fabrico do chassis é de 575,58€ para aço de liga 4130 e 1.531,45€ para o aço de liga 4340, contabilizando elementos curvos e rectos e um acréscimo de 5% devido ao mal aproveitamento do material.

Quanto aos elementos estruturais de secção quadrada, a dimensão de largura encontrada com secção igual aos elementos de secção circular, mas com espessura inferior, é de 25,4 x 25,4 x 1,651 mm, em que o preço para a liga de aço 4130 é de 16,73 €/m e para o aço 4340 é de 44,51 €/m (Tabela 31).

**Tabela 31 – Comparação entre Preços de Tubos de Secção Quadrada: Aço 4130 vs. 4340 [13];**

Dimensões: 25,4 x 25,4 x 1,651 mm ou 1" x 1" x 0,065"							
	Preço Dolar/1ft	Preço Euro/1ft	Preço Euro/metro	Preço Barra Dolar/1ft	Unid.	Quant. Total metros	Custo Total
Liga de Aço 4130	\$7,50	5,10 €	16,73 €	\$5,60		2,790	46,68 €
Liga de Aço 4340	\$19,96	13,57 €	44,51 €	\$14,90		2,790	124,20 €
Taxa de Câmbio Dolar/Euro		\$1,4708	1 ft = 304,8 mm	304,8	mm		

Sabendo o total necessário de metro linear de tubo de secção quadrada necessário à construção do chassis do veículo sabemos que o custo de matéria para o aço 4130 e do aço 4340. Deste modo conclui-se que custo em matéria-prima de tubo de secção quadrada para 46,68€ para a liga de aço 4130 e 124,20€ para a liga de aço 4340, contabilizando elementos curvos e rectos e um acréscimo de 5% devido ao mal aproveitamento do material.

Quanto ao custo de metro quadrado de chapa (Tabela 32) para revestimento do veículo foi decidido que deveria ser de espessura igual ou maior ao requisito mínimo de espessura para protecção frontal de 1,6 mm. As dimensões de chapa que mais se aproximaram por excesso foram 0,125" (3,175 mm).



**Fig. 78 – Chapa de Aço 4130 [44];**

**Tabela 32 – Comparação Preço Chapa Laminada Aço 4130 com 4340 [45];**

Dimensões: 228,6 x 228,6 x 3,175 mm ou 9" x 9" x 0,125"							
	Preço Dolar/Chapa	Preço Euro/Chapa	Preço Euro/m <sup>2</sup>	Preço Barra Dolar/1ft	Unid.	Quant. Total metros	Custo Total
Liga de Aço 4130	\$8,95	6,09 €	116,44 €	\$5,60		1,8575	216,29 €
Liga de Aço 4340	\$23,81	16,19 €	309,82 €	\$14,90		1,8575	575,48 €
Taxa de Câmbio Dolar/Euro		\$1,4708	A = 0,0522 m <sup>2</sup>	0,05226	mm		

Sabendo o total de m<sup>2</sup> necessários ao revestimento do veículo pode-se concluir o custo de chapa para a liga de aço 4130 e para a liga de aço 4340. Conclui-se que a quantidade de matéria-prima em chapa laminada necessária ao revestimento do veículo na zona circundante ao piloto e "chão" do veículo terá um custo de 216,29€ para a liga de aço 4130 e de 575,48€ para a liga de aço 4340, considerando 5% de desperdício devido ao corte e mal aproveitamento.

Procedendo da forma descrita antes, pode calcular-se o custo total da matéria-prima para a construção dos elementos estruturais necessários à construção do veículo.

Assim pode-se chegar à conclusão do custo total em elementos estruturais necessários à construção do veículo:

**Tabela 33 – Custo de Matéria-prima Necessária Liga Aço 4130 e 4340;**

Quantidade Necessária Material Liga de Aço 4130:	838,54 €
Quantidade Necessária Material Liga de Aço 4340:	2.231,13 €

Deste modo conclui-se que em termos de matéria-prima necessária à construção do chassis do veículo, o custo total é de 838,54€ em liga de aço 4130 e de 2.231,13€ em liga de aço 4340, considerando em todos os casos 5% de desperdício devido ao corte e mal aproveitamento.

Deve-se referir que o arco protecção traseiro sendo o elemento com maior comprimento linear quando planificado, irá ser determinante para a escolha da dimensão mínima dos elementos tubulares a serem solicitados ao fornecedor.

## X. CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS:

Tendo como objectivo conceber um chassis de um veículo de competição de tipo *Formula Student*, obtiveram-se quatro soluções para a geometria do chassis (Tabela 34).

A solução em que se obtiveram menores valores resultantes de tensão foi a Solução nº 3 (Tabela 34). A deformação máxima será de 8,3 mm e a tensão equivalente de *Von Mises* máxima de 405 MPa.

Considerando o aço AISI 4130, com tensão de cedência de 435 MPa e tensão de rotura de 670 MPa, e o aço AISI 4340, com tensão de cedência de 1145 MPa e tensão de rotura de 1207 MPa, verificou-se que a Solução nº 3 cumpre o requisito de ter tensões resultantes inferiores à tensão de cedência de ambos os materiais. No entanto, é uma solução complexa do ponto de vista do posicionamento dos seus elementos estruturais. Assim, a melhor solução é a 4 pois permite um melhor posicionamento dos elementos estruturais durante o fabrico, tem menos elementos estruturais e consequentemente uma menor massa, apesar de apresentar a desvantagem de só permitir a construção através da utilização do aço AISI 4340. De acordo com o comentado anteriormente a massa da Solução nº 4 é de 83,81 kg e a da Solução nº 3, é maior, é de 141,16 kg. A Solução nº 1 e a Solução 2 têm 90,46 e 137,66 kg de massa respectivamente.

Uma das desvantagens resultantes da escolha do aço AISI 4340 consiste no facto de existir uma maior diversidade de perfis no mercado para a liga de aço 4130 do que para a liga de aço 4340; a outra desvantagem resultante da escolha do aço AISI 4340 consiste na necessidade de se ter de aplicar um tratamento térmico pós soldadura, de modo a restaurar as tensões de cedência e de rotura referidas.

**Tabela 34 – Tensões resultantes das diversas análises efectuadas às soluções;**

Descrição Análise	Solução 1		Solução 2		Solução 3		Solução 4		AISI 4130		AISI 4340	
	Deformação Máxima [m]	Tensão Eqv. Máxima [MPa]	Deformação Máxima [m]	Tensão Eqv. Máxima [MPa]	Deformação Máxima [m]	Tensão Eqv. Máxima [MPa]	Deformação Máxima [m]	Tensão Eqv. Máxima [MPa]	Tensão Cedência [MPa]	Tensão Rotura [MPa]	Tensão Cedência [MPa]	Tensão Rotura [MPa]
Embate Frontal	0,007347	356	0,008284	387	0,008334	385	0,007998	375	435	670	1145	1207
Embate Lateral	0,005261	707	0,004112	383	0,003302	405	0,012732	912	435	670	1145	1207
Capotamento	0,001994	189	0,003684	187	0,003482	187	0,004309	190	435	670	1145	1207
Total Embates	0,005574	721	0,003239	478	0,002251	291	0,012476	943	435	670	1145	1207
Suspensão	0,001173	344	0,000727	319	0,000673	329	0,001172	345	435	670	1145	1207
Total Esforços	0,005523	716	0,003349	515	0,002247	347	0,012347	937	435	670	1145	1207

**Tabela 35 – Massas obtidas nas análises das soluções e em trabalho anterior [5];**

Análise Anterior	Massa Solução 1	Massa Solução 2	Massa Solução 3	Massa Solução 4
99,8 kg	90,46 kg	137,66 kg	141,16 kg	83,81 kg

De acordo com a modelação do chassis elaborou-se uma orçamentação de matéria-prima, metal de adição (processo de soldadura), equipamento básico necessário ao fabrico e custos de processo. Também se efectuou o planeamento dos ensaios não destrutivos a serem aplicados após o fabrico do chassis. Ficou por efectuar uma orçamentação aos custos de ensaios não destrutivos, em termos de material e consumíveis.

Considerando que o tempo gasto na produção do chassis é 40 horas (5 dias) e um operário especializado custa 6,48 €/hora, tal resultará num gasto em pessoal de 259,20€, que adicionado ao custo de aluguer de equipamento de 469,98€ e ao custo de electricidade 4,92 €, ao custo de metal

de adição de 948,46 € e ao custo de matéria-prima, resulta o total de 2.521,10 € para a liga de aço AISI 4130 e ao total de 3.912,69 € para a liga de aço AISI 4340.

A quantidade de varetas necessárias para o processo de soldadura do chassis foi contabilizada tendo em conta o perímetro de cordão de soldadura necessário e o tamanho da vareta que foi de  $36'' = 914,4 \text{ mm}$ ; o que resulta em 31 varetas com o custo de 948,46€.

Dado que não se considerou as chapas de revestimento lateral e “chão” do monolugar como elemento estrutural, não se contabilizou o corte da chapa, nem as soldaduras, sendo que as soldaduras não deverão ser mais dos pingos de fixação das chapas.

No futuro espera-se efectuar o fabrico/produção deste chassis, de acordo com as indicações inclusas neste trabalho, e outras que surjam em outros trabalhos, de forma a permitir que o chassis seja um exemplo prático para os estudantes e permita a construção do primeiro protótipo para aqueles que queiram competir nas competições *Formula Student* ou *Formula SAE* pela FCT/UNL.

## **XI. BIBLIOGRAFIA:**

- [1] SAE, 2009 *Formula SAE Rules*,  
<http://www.formulasae.org/forums/formula/dl.cgi/9498a3116d1ac0e6c104e32b22fd010e/2009%20FSAE%20Rules%20FINAL.pdf>;
- [2] WELDING ALUMINUM (latest Edition) by the Aluminum Association;
- [3] THE WELDING HANDBOOK, Vol . 4, 7th Ed., by The American Welding Society;
- [4] Pereira, B.; Oliveira, P.; Teixeira, R.; *Projecto I, Formula Student, Estudo do Chassis*; UNL-FCT-DEMI, Monte da Caparica, 11 de Janeiro de 2006;
- [5] Pereira, B.; Oliveira, P.; Teixeira, R.; *Projecto II, Formula Student, Estudo do Chassis*; UNL-FCT-DEMI, Monte da Caparica, 30 de Junho de 2006;
- [6] <http://www.matweb.com/>, online em Junho de 2006;
- [7] Pinheiro, João P. de Almeida, “*Projecto de um sistema de suspensão e de direcção para um veículo de competição do tipo Formula Student*” (em português), FCT/UNL, 2008;
- [8] Chagas; *Manual Técnico De Produtos Siderúrgicos*; 2.<sup>a</sup> Edição, 2002;
- [9] TW Portugal, <http://pt.twmetals.com/>,Fev. 2008;
- [10] <http://www.airpartsinc.com/products/4130-steel-tubing.htm>, Fev. 2009;
- [11] <http://www.aircraftspruce.com/pdf/2009Individual/Cat09062.pdf>, Fev. 2009;
- [12] [http://www.bportugal.pt/rates/cambtx/txrefer/avr\\_TCReur\\_p.htm](http://www.bportugal.pt/rates/cambtx/txrefer/avr_TCReur_p.htm), Fev. 2009;
- [13] <http://www.aircraftspruce.com/catalog/mepages/4130square.php>, Fev. 2009;
- [14] [http://en.wikipedia.org/wiki/Gas\\_tungsten\\_arc\\_welding](http://en.wikipedia.org/wiki/Gas_tungsten_arc_welding), Fev. 2009;
- [15] <http://www.infosolda.com.br/download/61dpb.pdf>, Fev. 2009;
- [16] [http://in3.dem.ist.utl.pt/mscdesign/01tecmecc/notas4\\_a.pdf](http://in3.dem.ist.utl.pt/mscdesign/01tecmecc/notas4_a.pdf), Fev. 2009;
- [17] SAF-FRO/Air Liquide, *Manual da Tocha Para TIG, PROTIG 10/10F*;
- [18] [http://www.weldingmaterialsales.com/Product\\_pages/er70s2\\_productpage.htm](http://www.weldingmaterialsales.com/Product_pages/er70s2_productpage.htm), Set. 2008;
- [19] <http://www.elmechindia.com/datasheet.htm>, Set. 2008;
- [20] <http://archive.metalformingmagazine.com/2001/01/Lincoln.pdf>, Set. 2008;
- [21] <http://www.stoodyind.com/Catalogs/FISC/05catpg379.pdf>, Set. 2008;
- [22] <http://www.weldingtipsandtricks.com/welding-4130.html>, Set. 2008;
- [23] <http://www.netwelding.com/Welding%204130.htm>, Set. 2008;
- [24] <http://home.hiwaay.net/~langford/sportair/>, Set. 2008;
- [25] [http://www.interlloy.com.au/data\\_sheets/high\\_tensile\\_steels/4340.html](http://www.interlloy.com.au/data_sheets/high_tensile_steels/4340.html), Set. 2008;
- [26] <http://www.buau.com.au/english/files/4340.pdf>, Set. 2008;
- [27] [http://www.bohlerwelding.ru/files/cat/full\\_catalog.pdf](http://www.bohlerwelding.ru/files/cat/full_catalog.pdf), Set. 2008;



- [28] <http://www.cor-met.com/PDF%20from%20Word%20GPC/GPC%2071%20Cor%20Alloy%204340%20FC.pdf>, *Set. 2008*;
- [29] Santos; José F. Oliveira; Quintino, Luísa; Processos De Soldadura; 2.<sup>a</sup> Edição; ISQ; 1998;
- [30] <http://www.aneop.pt/docs/tabela2008.pdf>, *Fev. 2009*;
- [31] [http://www.anemm.pt/conteudos/docs/novo\\_cct\\_do\\_sector\\_0.pdf](http://www.anemm.pt/conteudos/docs/novo_cct_do_sector_0.pdf), *Fev. 2009*;
- [32] <http://aeiou.expressoemprego.pt/scripts/indexpage.asp?headingID=4153>, *Fev. 2009*;
- [33] <http://aeiou.expressoemprego.pt/scripts/indexpage.asp?headingID=3608>, *Fev. 2009*;
- [34] <http://www.edp.pt/EDPI/Internet/PT/Group/Investors/News/2005/Com0563.htm>, *Fev. 2009*;
- [35] <http://www.logismarket.pt/einhell-portugal/serra-de-fita-corte-metal/894337718-897047446-p.html>, *Set. 2008*;
- [36] <http://www.einhell.pt/pdf/4504200.pdf>, *Fev. 2009*;
- [37] [http://www.starrett.com/download/145\\_bs\\_cat\\_09\\_54\\_57\\_cut\\_table\\_and\\_area.pdf](http://www.starrett.com/download/145_bs_cat_09_54_57_cut_table_and_area.pdf), *Fev. 2009*;
- [38] [http://www.ideal.de/preisvergleich/OffersOfProduct/399565\\_-mbs-400-einhell.html](http://www.ideal.de/preisvergleich/OffersOfProduct/399565_-mbs-400-einhell.html), *Set. 2008*;
- [39] [http://www.vansantent.com/tube\\_bending\\_machines/Baileigh\\_RDB\\_125.htm](http://www.vansantent.com/tube_bending_machines/Baileigh_RDB_125.htm), *Fev. 2009*;
- [40] [http://vansantent.com/tube\\_bending\\_machines/Baileigh\\_bender\\_dies.htm](http://vansantent.com/tube_bending_machines/Baileigh_bender_dies.htm), *Fev. 2009*;
- [41] <http://www.henriquecruz.pt/prod/3182>, *Fev. 2009*;
- [42] <http://cgi.ebay.de/ws/eBayISAPI.dll?ViewItem&item=350106717984>, *Fev. 2009*;
- [43] <http://www.oerlikon-welding.com/file/otherelement/pj/tig48918.pdf>, *Fev. 2009*;
- [44] [http://www.onlinemetals.com/merchant.cfm?pid=9666&step=4&showunits=inches&id=814&top\\_cat=0](http://www.onlinemetals.com/merchant.cfm?pid=9666&step=4&showunits=inches&id=814&top_cat=0), *Fev. 2009*;
- [45] <http://www.airpartsinc.com/products/4130-steel-sheet.htm>, *Fev. 2009*;
- [46] <http://www.formulastudent.com/aboutus/>, *Jan. 2009*;
- [47] [http://en.wikipedia.org/wiki/Formula\\_Student](http://en.wikipedia.org/wiki/Formula_Student), *Jan. 2009*;
- [48] [http://en.wikipedia.org/wiki/Silverstone\\_Circuit](http://en.wikipedia.org/wiki/Silverstone_Circuit), *Jan. 2009*;
- [49] <http://pt.wikipedia.org/wiki/Ortotropia>, *Fev. 2009*, ( *Noção de ortotropia*);
- [50] Tiago, A.; Pereira, B.; Vieira, E.; Oliveira, P.; Teixeira, R.; *Métodos Computacionais, Optimização por Elementos Finitos, Chassis e TUBEIRA*; UNL-FCT-DEMI, Monte da Caparica, 16 de Fevereiro de 2006;
- [51] Tutorial do ANSYS, Junho 2006;
- [52] Air Liquide, *Manual Máquina De Soldadura TIG, CITIG 1500 DC*;
- [53] <http://www.endportugal.com/ensaios>, *Fev. 2009*;

- [54] <http://www.racetechsteel.com.au/products-square.htm>, *Fev. 2009*;
- [55] [http://www.vansantent.com/Baileigh%20Manuals/Model\\_150\\_AS\\_Manual.pdf](http://www.vansantent.com/Baileigh%20Manuals/Model_150_AS_Manual.pdf), *Fev. 2009*;
- [56] Coelho, P.G., "Meta-Heurísticas Aplicadas em Optimização Estrutural", 2003, 89-90;
- [57] Moaveni , Saeed; Finite Element Analysis - Theory and Application with ANSYS; Minnesota State University, Mankato, PRENTICE HALL, 1999;
- [58] <http://www.topopt.dtu.dk/>, *Dez. 2005*;
- [59] <http://www.abende.org.br/index.html>, *Mar 2006*;
- [60] <http://www.qualidadeaeronautica.com.br/index.htm>, *Mar 2006*;
- [61] Barata, João; Barros, Pedro; Almeida, Filomena Pinto; Ensaios Não Destrutivos; ISQ, 1992;
- [62] Prata, António Luís Salgado; Fundamentos Metalúrgicos Soldadura; EDINOVA, 2000.

## **XII. ANEXOS:**

### **A. NOTA INTRODUTÓRIA À COMPETIÇÃO:**

A *Formula Student* é uma competição académica internacional organizada pela *Institution Of Mechanical Engineers* (IMechE), a *Society Of Automotive Engineers* (SAE) e a *Institution Of Electrical Engineers* (IEE), com o objectivo de estimular os estudantes universitários, de engenharia, a projectar um veículo de competição de grande desempenho, de forma competirem no terreno em eventos estáticos e dinâmicos. Similar à americana *Formula SAE*, mas importada pela Inglaterra à mais de 20 anos, difere apenas nas regras, podendo-se competir em ambas as competições.

Cronologicamente a competição inicia-se em 1981 com a *Formula SAE* nos Estados Unidos da América, organizado pela SAE. Mais tarde em 1998, é efectuada uma demonstração no Reino Unido que ao despertar o interesse dos estudantes europeus deu início importação do conceito. No ano de 2004 a *Formula Student* obteve 66 inscrições de universidades, de 19 países do mundo, dos continentes Americano, Asiático, Europeu e da Oceânia.

Espera-se a aplicação dos conceitos apreendidos no curso e vida académica, através da concepção, desenho e produção de um veículo de competição com alto desempenho, em termos de aceleração, travagem e comportamento. Deverá ser um veículo de produção rentável, tendo como base a produção anual de 1.000 unidades com um custo inferior a \$25.000 (£16,000/21,000 €). Além de tudo o mais, o veículo deve ser fiável, de fácil manutenção, com design apelativo e funcional, e eficientemente aerodinâmico.

É necessária a produção de um protótipo para avaliação em eventos estáticos e dinâmicos, além do projecto produtivo que cumpram os objectivos da competição.

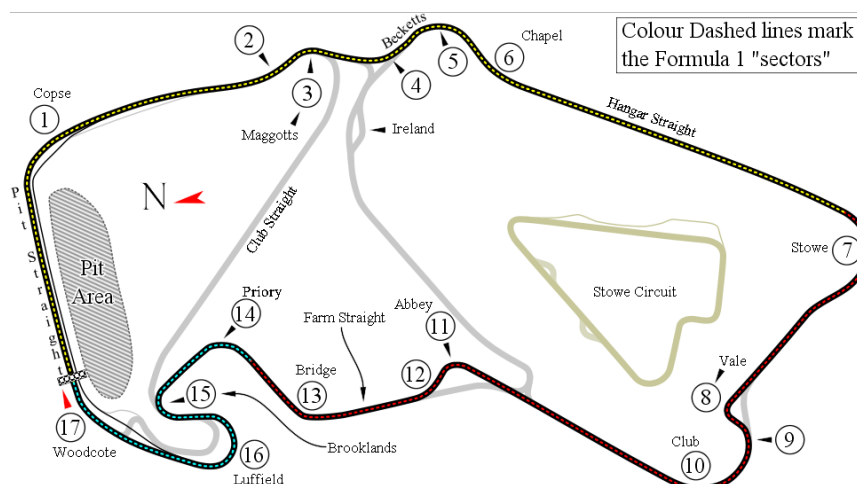
Sendo uma competição de apenas estudantes universitários espera-se que através de regras e restrições de projecto estimule e teste os conhecimentos, criatividade e imaginação dos envolvidos.

A competição culmina numa competição onde se reúnem diferentes equipas mundiais ou locais para apresentar as suas diferentes soluções e serem avaliadas em concepção, desempenho e rentabilidade.

Cada equipa participante compete em cinco classes existentes, sendo os critérios de avaliação diferentes entre classes. O júri é composto de elementos de reconhecida experiência nas áreas de competição e indústria.

No Reino Unido as provas realizam-se em *Leicester*, em Itália realiza-se na pista de teste da *FIAT* pela *FSAE Italy*, em Hockenheim na Alemanha pela *Formula Student Germany*, no Brasil pela *FSAE Brazil*, no Japão pela *FSAE Japan* e na Austrália pela *FSAE Australia*.

Em 2008 a *Formula Student* foi efectuada no circuito de *Silverstone*, entre 10 a 13 de Julho [4] [5] [46] [47].



**Fig. 79 – Circuito de Silverstone onde se efectua a “Formula Student”;**

A competição é composta por 5 classes, com o objectivo de permitir uma aprendizagem progressiva. A classe 1, 1A, 1-200, 2 e 3.

- a) **Classe 3**, é o ponto inicial de entrada na competição, onde se apresenta o projecto concepção e construtivo, com base nas regras da competição *Formula SAE*. Nesta classe é apresentado o projecto do veículo e a equipa é avaliada nas seguintes categorias (para um total de 1000 pontos):
  - Apresentação (300);
  - Concepção (400);
  - Análise de custos (300).
- b) **Classe 2**, é a classe destina-se às equipas que evoluíram o seu projecto e possuem componentes produzidos, com o requisito mínimo de ter o chassis completo para apresentação, mas não o suficiente para provas dinâmicas. São avaliadas nas mesmas categorias da Classe 3, para o mesmo número de pontos (1000).
- c) **Classe 1-200**, é destinado aos veículos que competiram nos anos anteriores, obtiveram melhorias e voltam a competir de forma a que os estudantes adquiram experiência suficiente para a classe 1.
- d) **Classe 1A**, é dedicada a veículos alimentados por combustíveis alternativos, com intuito de enfatizar o impacto ambiental da competição.
- e) **Classe 1**, é similar à *Formula SAE* na qual uma equipa elabora a concepção, produz e compete um veículo totalmente funcional, apenas para esta prova, o qual no ano seguinte só poderá reentrar na classe 1-200 invés da classe 1.

Na classe 1 apresenta-se o protótipo do veículo projectado. No entanto só podem participar nas categorias dinâmicas se o protótipo apresentar garantias de segurança. Serão avaliadas nas seguintes categorias com um total 1000 pontos:

- **Provas Estáticas:**
  - Concepção (150);
  - Apresentação (75);
  - Gestão de Custos (100);
  - Ensaio Capotamento;
  - Ensaio de travagem e ruído.

➤ **Provas Dinâmicas:**

- Aceleração (75);
- *Skid-pad* (50);
- *Autocross* (150);
- Economia de combustível (50);
- *Endurance* (350).

## **B. “KEYPOINTS” DO CHASSIS ANALISADO INICIALMENTE:**

LIST ALL SELECTED KEYPOINTS. DSYS= 0

\*\*\*\*\* ANSYS - ENGINEERING ANALYSIS SYSTEM RELEASE 11.0 \*\*\*\*\*  
ANSYS Multiphysics  
00338873 VERSION=INTEL NT 21:39:51 DEC 11, 2007 CP= 7.219

NO.	X,Y,Z LOCATION	KESIZE	NODE	ELEM	MAT	REAL	TYP	ESYS
1	0.00 0.00 0.125	0.00	38	0	0	0	0	0
2	0.00 0.00 -0.125	0.00	1619	0	0	0	0	0
3	0.00 0.800E-01 0.131	0.00	23	0	0	0	0	0
4	0.00 0.800E-01 -0.131	0.00	1604	0	0	0	0	0
5	0.00 0.300 0.150	0.00	2	0	0	0	0	0
6	0.00 0.300 -0.150	0.00	1879	0	0	0	0	0
7	0.338 0.00 0.161	0.00	1	0	0	0	0	0
8	0.338 0.00 -0.161	0.00	2649	0	0	0	0	0
9	0.338 0.800E-01 0.168	0.00	189	0	0	0	0	0
10	0.338 0.800E-01 -0.168	0.00	2049	0	0	0	0	0
11	0.338 0.300 0.188	0.00	190	0	0	0	0	0
12	0.338 0.300 -0.188	0.00	2070	0	0	0	0	0
13	0.338 0.445 0.126	0.00	3977	0	0	0	0	0
14	0.338 0.445 -0.126	0.00	3980	0	0	0	0	0
15	0.700 0.00 0.200	0.00	687	0	0	0	0	0
16	0.700 0.00 -0.200	0.00	1356	0	0	0	0	0
17	0.700 0.800E-01 0.208	0.00	351	0	0	0	0	0
18	0.700 0.800E-01 -0.208	0.00	1489	0	0	0	0	0
19	0.700 0.300 0.230	0.00	372	0	0	0	0	0
20	0.700 0.300 -0.230	0.00	1468	0	0	0	0	0

NO.	X,Y,Z LOCATION	KESIZE	NODE	ELEM	MAT	REAL	TYP	ESYS
21	0.700 0.352 0.233	0.00	4009	0	0	0	0	0
22	0.700 0.352 -0.233	0.00	4028	0	0	0	0	0
23	0.700 0.500 0.250	0.00	4012	0	0	0	0	0
24	0.700 0.500 -0.250	0.00	4024	0	0	0	0	0
25	0.700 0.500 0.700E-01	0.00	4017	0	0	0	0	0
26	0.700 0.500 -0.700E-01	0.00	4021	0	0	0	0	0
27	0.700 0.600 0.100	0.00	4055	0	0	0	0	0
28	0.700 0.600 -0.100	0.00	4047	0	0	0	0	0
29	0.700 0.438 0.100	0.00	0	0	0	0	0	0
30	0.700 0.438 -0.100	0.00	0	0	0	0	0	0
31	1.50 0.00 0.300	0.00	929	0	0	0	0	0
32	1.50 0.00 -0.300	0.00	1229	0	0	0	0	0
33	1.50 0.300 0.300	0.00	813	0	0	0	0	0
34	1.50 0.300 -0.300	0.00	1062	0	0	0	0	0
35	1.50 0.585 0.224	0.00	2385	0	0	0	0	0
36	1.50 0.585 -0.224	0.00	2539	0	0	0	0	0
37	1.50 0.900 0.140	0.00	4063	0	0	0	0	0
38	1.50 0.900 -0.140	0.00	4068	0	0	0	0	0
39	1.50 0.863 0.00	0.00	0	0	0	0	0	0
40	1.50 0.00 0.500	0.00	4073	0	0	0	0	0

NO.	X,Y,Z LOCATION	KESIZE	NODE	ELEM	MAT	REAL	TYP	ESYS
41	1.50 0.300 0.500	0.00	4076	0	0	0	0	0
42	1.50 0.300 -0.500	0.00	4083	0	0	0	0	0
43	1.50 0.00 -0.500	0.00	4086	0	0	0	0	0
44	2.08 0.00 0.175	0.00	4093	0	0	0	0	0
45	2.08 0.00 -0.175	0.00	4094	0	0	0	0	0
46	2.08 0.960E-01 0.183	0.00	4105	0	0	0	0	0
47	2.08 0.960E-01 -0.183	0.00	4112	0	0	0	0	0
48	2.08 0.300 0.200	0.00	4108	0	0	0	0	0
49	2.08 0.300 -0.200	0.00	4115	0	0	0	0	0
50	2.38 0.00 0.175	0.00	4124	0	0	0	0	0
51	2.38 0.00 -0.175	0.00	4138	0	0	0	0	0
52	2.38 0.637E-01 0.180	0.00	4125	0	0	0	0	0
53	2.38 0.637E-01 -0.180	0.00	4139	0	0	0	0	0
54	2.38 0.227 0.194	0.00	4128	0	0	0	0	0
55	2.38 0.227 -0.194	0.00	4142	0	0	0	0	0
56	2.38 0.300 0.200	0.00	4135	0	0	0	0	0
57	2.38 0.300 -0.200	0.00	4149	0	0	0	0	0
58	2.38 0.300 0.105	0.00	4152	0	0	0	0	0
59	2.38 0.300 -0.105	0.00	4155	0	0	0	0	0
60	1.86 0.653 0.00	0.00	4371	0	0	0	0	0

NO.	X,Y,Z LOCATION	KESIZE	NODE	ELEM	MAT	REAL	TYP	ESYS
61	0.00 0.177 0.00	0.00	0.00	1709	0	0	0	0



### C. LISTA NÓS SOLUÇÃO N.º 1 DE CHASSIS:

Tabela 36 – Posicionamento dos nós para a solução 1 de chassis (Massa igual a 90,46 kg);

NODE	x [m]	y [m]	z [m]	NODE	x [m]	y [m]	z [m]	NODE	x [m]	y [m]	z [m]	NODE	x [m]	y [m]	z [m]
1	0,0000	0,0000	0,1250	17	0,7000	0,0000	0,2000	33	1,5000	0,0000	0,3000	49	2,0800	0,0800	-0,1800
2	0,0000	0,0000	-0,1250	18	0,7000	0,0000	-0,2000	34	1,5000	0,0000	-0,3000	50	2,0800	0,3000	0,2000
3	0,0000	0,0800	0,1310	19	0,7000	0,0800	0,2080	35	1,5000	0,3000	0,3000	51	2,0800	0,3000	-0,2000
4	0,0000	0,0800	-0,1310	20	0,7000	0,0800	-0,2080	36	1,5000	0,3000	-0,3000	52	2,3800	0,0000	0,1750
5	0,0000	0,3000	0,1500	21	0,7000	0,3000	0,2300	37	1,5000	0,5850	0,2200	53	2,3800	0,0000	-0,1750
6	0,0000	0,3000	-0,1500	22	0,7000	0,3000	-0,2300	38	1,5000	0,5850	-0,2200	54	2,0800	0,2580	0,1963
7	0,3380	0,0000	0,1610	23	0,0000	0,0800	0,0517	39	1,5000	0,9000	0,1400	55	2,0800	0,2580	-0,1963
8	0,3380	0,0000	-0,1610	24	1,1000	0,3000	0,2650	40	1,5000	0,9000	-0,1400	56	2,3800	0,0800	0,1800
9	0,3380	0,0800	0,1680	25	0,7000	0,5000	0,2500	41	1,5000	1,0079	0,0000	57	2,3800	0,0800	-0,1800
10	0,3380	0,0800	-0,1680	26	0,7000	0,5000	-0,2500	42	1,5000	0,0000	0,5000	58	2,3800	0,3000	0,2000
11	0,3380	0,3000	0,1880	27	1,1000	0,1500	0,2500	43	1,5000	0,3000	0,5000	59	2,3800	0,3000	-0,2000
12	0,3380	0,3000	-0,1880	28	1,1000	0,0000	0,2500	44	1,5000	0,3000	-0,5000	60	2,3800	0,2580	0,1963
13	0,3380	0,4450	0,1260	29	0,7000	0,6000	0,1000	45	1,5000	0,0000	-0,5000	61	2,3800	0,2580	-0,1963
14	0,3380	0,4450	-0,1260	30	0,7000	0,6000	-0,1000	46	2,0800	0,0000	0,1750	62	1,8600	0,6530	0,0000
15	0,3380	0,3725	0,1570	31	0,7000	0,4380	0,1000	47	2,0800	0,0000	-0,1750	63	0,0000	0,0000	0,0000
16	0,3380	0,3725	-0,1570	32	0,7000	0,4380	-0,1000	48	2,0800	0,0800	0,1800	64	1,1000	0,0000	-0,2500
												65	1,1000	0,0000	0,0000
												66	1,1000	0,3000	-0,2650
												67	1,1000	0,1500	-0,2500

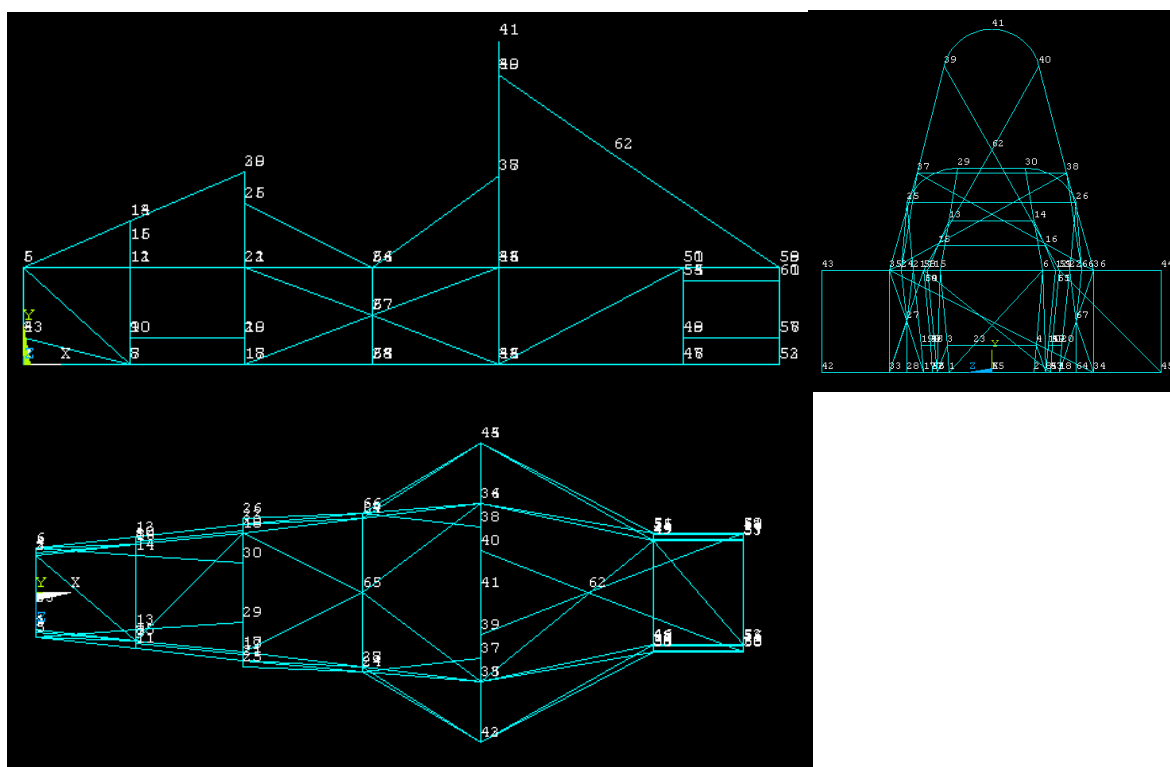
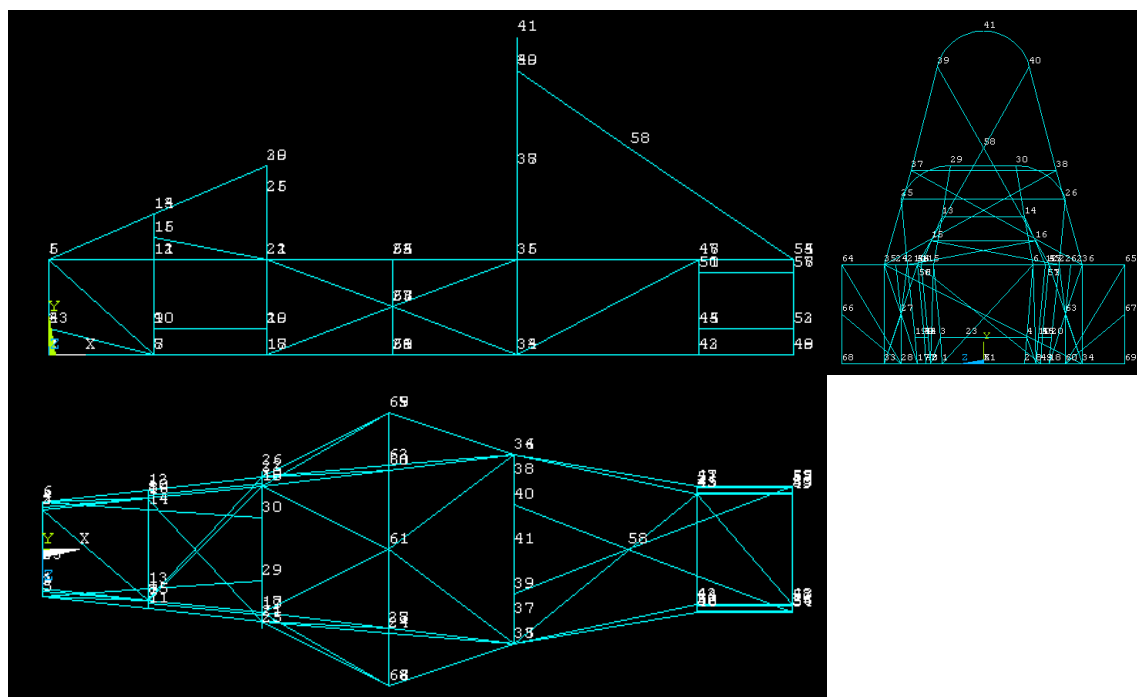


Fig. 80 – Projecções ortogonais do chassis solução n.º 1;

## **D. LISTA NÓS SOLUÇÃO N.º 2 DE CHASSIS:**

**Tabela 37 – Posicionamento dos nós para a solução 2 de chassis (Massa igual a 137,66 kg);**

NODE	x [m]	y [m]	z [m]	NODE	x [m]	y [m]	z [m]	NODE	x [m]	y [m]	z [m]	NODE	x [m]	y [m]	z [m]
1	0,0000	0,0000	0,1250	17	0,7000	0,0000	0,2000	33	1,5000	0,0000	0,3000	49	2,3800	0,0000	-0,1750
2	0,0000	0,0000	-0,1250	18	0,7000	0,0000	-0,2000	34	1,5000	0,0000	-0,3000	50	2,0800	0,2580	0,1963
3	0,0000	0,0800	0,1310	19	0,7000	0,0800	0,2080	35	1,5000	0,3000	0,3000	51	2,0800	0,2580	-0,1963
4	0,0000	0,0800	-0,1310	20	0,7000	0,0800	-0,2080	36	1,5000	0,3000	-0,3000	52	2,3800	0,0800	0,1800
5	0,0000	0,3000	0,1500	21	0,7000	0,3000	0,2300	37	1,5000	0,5850	0,2200	53	2,3800	0,0800	-0,1800
6	0,0000	0,3000	-0,1500	22	0,7000	0,3000	-0,2300	38	1,5000	0,5850	-0,2200	54	2,3800	0,3000	0,2000
7	0,3380	0,0000	0,1610	23	0,0000	0,0800	0,0517	39	1,5000	0,9000	0,1400	55	2,3800	0,3000	-0,2000
8	0,3380	0,0000	-0,1610	24	1,1000	0,3000	0,2650	40	1,5000	0,9000	-0,1400	56	2,3800	0,2580	0,1963
9	0,3380	0,0800	0,1680	25	0,7000	0,5000	0,2500	41	1,5000	1,0079	0,0000	57	2,3800	0,2580	-0,1963
10	0,3380	0,0800	-0,1680	26	0,7000	0,5000	-0,2500	42	2,0800	0,0000	0,1750	58	1,8600	0,6530	0,0000
11	0,3380	0,3000	0,1880	27	1,1000	0,1500	0,2500	43	2,0800	0,0000	-0,1750	59	0,0000	0,0000	0,0000
12	0,3380	0,3000	-0,1880	28	1,1000	0,0000	0,2500	44	2,0800	0,0800	0,1800	60	1,1000	0,0000	-0,2500
13	0,3380	0,4450	0,1260	29	0,7000	0,6000	0,1000	45	2,0800	0,0800	-0,1800	61	1,1000	0,0000	0,0000
14	0,3380	0,4450	-0,1260	30	0,7000	0,6000	-0,1000	46	2,0800	0,3000	0,2000	62	1,1000	0,3000	-0,2650
15	0,3380	0,3725	0,1570	31	0,7000	0,4380	0,1000	47	2,0800	0,3000	-0,2000	63	1,1000	0,1500	-0,2500
16	0,3380	0,3725	-0,1570	32	0,7000	0,4380	-0,1000	48	2,3800	0,0000	0,1750	64	1,1000	0,3000	0,4300
												65	1,1000	0,3000	-0,4300
												66	1,1000	0,1500	0,4300
												67	1,1000	0,1500	-0,4300
												68	1,1000	0,0000	0,4300
												69	1,1000	0,0000	-0,4300

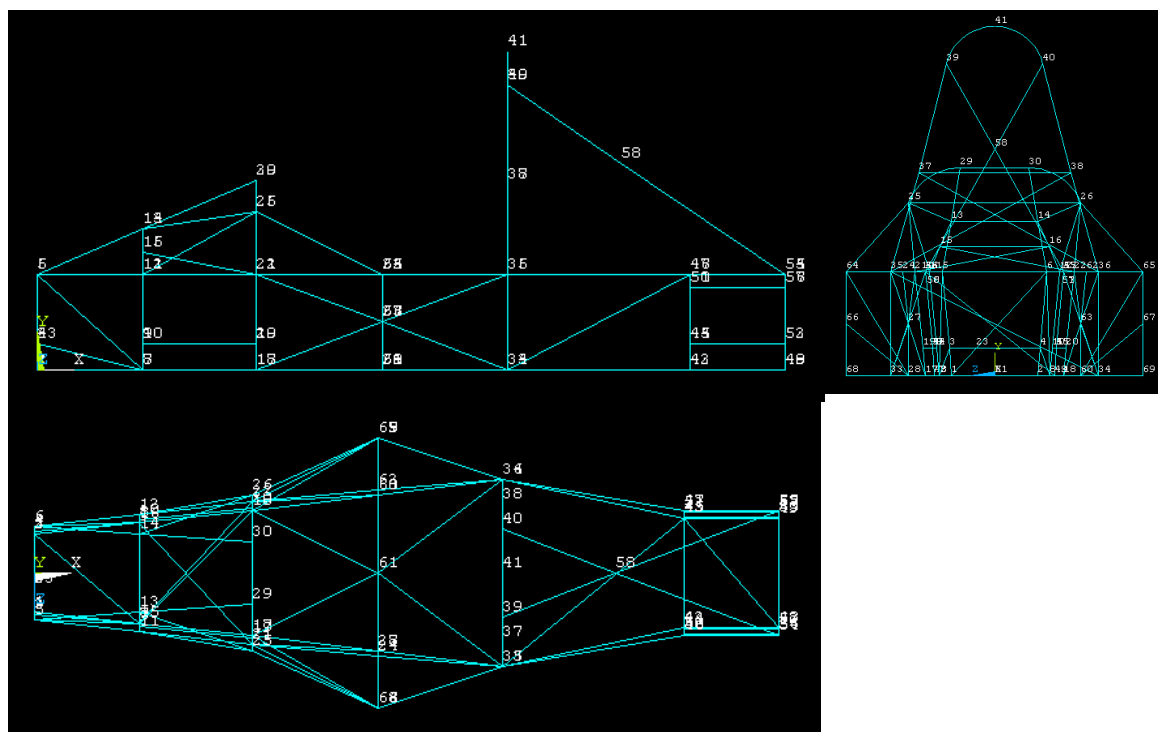


**Fig. 81 – Projecções ortogonais do chassis solução n.º 2.**

### **E. LISTA NÓS SOLUÇÃO N.º 3 DE CHASSIS:**

**Tabela 38 – Posicionamento dos nós para a solução 3 de chassis (Massa igual a 141,16 kg);**

NODE	x [m]	y [m]	z [m]	NODE	x [m]	y [m]	z [m]	NODE	x [m]	y [m]	z [m]	NODE	x [m]	y [m]	z [m]
1	0,0000	0,0000	0,1250	17	0,7000	0,0000	0,2000	33	1,5000	0,0000	0,3000	49	2,3800	0,0000	-0,1750
2	0,0000	0,0000	-0,1250	18	0,7000	0,0000	-0,2000	34	1,5000	0,0000	-0,3000	50	2,0800	0,2580	0,1963
3	0,0000	0,0800	0,1310	19	0,7000	0,0800	0,2080	35	1,5000	0,3000	0,3000	51	2,0800	0,2580	-0,1963
4	0,0000	0,0800	-0,1310	20	0,7000	0,0800	-0,2080	36	1,5000	0,3000	-0,3000	52	2,3800	0,0800	0,1800
5	0,0000	0,3000	0,1500	21	0,7000	0,3000	0,2300	37	1,5000	0,5850	0,2200	53	2,3800	0,0800	-0,1800
6	0,0000	0,3000	-0,1500	22	0,7000	0,3000	-0,2300	38	1,5000	0,5850	-0,2200	54	2,3800	0,3000	0,2000
7	0,3380	0,0000	0,1610	23	0,0000	0,0800	0,0517	39	1,5000	0,9000	0,1400	55	2,3800	0,3000	-0,2000
8	0,3380	0,0000	-0,1610	24	1,1000	0,3000	0,2650	40	1,5000	0,9000	-0,1400	56	2,3800	0,2580	0,1963
9	0,3380	0,0800	0,1680	25	0,7000	0,5000	0,2500	41	1,5000	1,0079	0,0000	57	2,3800	0,2580	-0,1963
10	0,3380	0,0800	-0,1680	26	0,7000	0,5000	-0,2500	42	2,0800	0,0000	0,1750	58	1,8600	0,6530	0,0000
11	0,3380	0,3000	0,1880	27	1,1000	0,1500	0,2500	43	2,0800	0,0000	-0,1750	59	0,0000	0,0000	0,0000
12	0,3380	0,3000	-0,1880	28	1,1000	0,0000	0,2500	44	2,0800	0,0800	0,1800	60	1,1000	0,0000	-0,2500
13	0,3380	0,4450	0,1260	29	0,7000	0,6000	0,1000	45	2,0800	0,0800	-0,1800	61	1,1000	0,0000	0,0000
14	0,3380	0,4450	-0,1260	30	0,7000	0,6000	-0,1000	46	2,0800	0,3000	0,2000	62	1,1000	0,3000	-0,2650
15	0,3380	0,3725	0,1570	31	0,7000	0,4380	0,1000	47	2,0800	0,3000	-0,2000	63	1,1000	0,1500	-0,2500
16	0,3380	0,3725	-0,1570	32	0,7000	0,4380	-0,1000	48	2,3800	0,0000	0,1750	64	1,1000	0,3000	0,4300
												65	1,1000	0,3000	-0,4300
												66	1,1000	0,1500	0,4300
												67	1,1000	0,1500	-0,4300
												68	1,1000	0,0000	0,4300
												69	1,1000	0,0000	-0,4300



**Fig. 82 – Projecções ortogonais do chassis solução n.º 3**

## F. LISTA NÓS SOLUÇÃO N.º 4 DE CHASSIS:

Tabela 39 – Posicionamento dos nós para a solução 4 de chassis (Massa igual 83,81 kg);

NODE	x [m]	y [m]	z [m]	NODE	x [m]	y [m]	z [m]	NODE	x [m]	y [m]	z [m]	NODE	x [m]	y [m]	z [m]
1	0,0000	0,0000	0,1250	17	0,7000	0,0000	0,2000	33	1,5000	0,0000	0,3000	49	2,0800	0,0800	-0,1800
2	0,0000	0,0000	-0,1250	18	0,7000	0,0000	-0,2000	34	1,5000	0,0000	-0,3000	50	2,0800	0,3000	0,2000
3	0,0000	0,0800	0,1310	19	0,7000	0,0800	0,2080	35	1,5000	0,3000	0,3000	51	2,0800	0,3000	-0,2000
4	0,0000	0,0800	-0,1310	20	0,7000	0,0800	-0,2080	36	1,5000	0,3000	-0,3000	52	2,3800	0,0000	0,1750
5	0,0000	0,3000	0,1500	21	0,7000	0,3000	0,2300	37	1,5000	0,5850	0,2200	53	2,3800	0,0000	-0,1750
6	0,0000	0,3000	-0,1500	22	0,7000	0,3000	-0,2300	38	1,5000	0,5850	-0,2200	54	2,0800	0,2580	0,1963
7	0,3380	0,0000	0,1610	23	0,0000	0,0800	0,0517	39	1,5000	0,9000	0,1400	55	2,0800	0,2580	-0,1963
8	0,3380	0,0000	-0,1610	24	1,1000	0,3000	0,2650	40	1,5000	0,9000	-0,1400	56	2,3800	0,0800	0,1800
9	0,3380	0,0800	0,1680	25	0,7000	0,5000	0,2500	41	1,5000	1,0079	0,0000	57	2,3800	0,0800	-0,1800
10	0,3380	0,0800	-0,1680	26	0,7000	0,5000	-0,2500	42	1,5000	0,0000	0,5000	58	2,3800	0,3000	0,2000
11	0,3380	0,3000	0,1880	27	1,1000	0,1500	0,2500	43	1,5000	0,3000	0,5000	59	2,3800	0,3000	-0,2000
12	0,3380	0,3000	-0,1880	28	1,1000	0,0000	0,2500	44	1,5000	0,3000	-0,5000	60	2,3800	0,2580	0,1963
13	0,3380	0,4450	0,1260	29	0,7000	0,6000	0,1000	45	1,5000	0,0000	-0,5000	61	2,3800	0,2580	-0,1963
14	0,3380	0,4450	-0,1260	30	0,7000	0,6000	-0,1000	46	2,0800	0,0000	0,1750	62	1,8600	0,6530	0,0000
15	0,3380	0,3725	0,1570	31	0,7000	0,4380	0,1000	47	2,0800	0,0000	-0,1750	63	0,0000	0,0000	0,0000
16	0,3380	0,3725	-0,1570	32	0,7000	0,4380	-0,1000	48	2,0800	0,0800	0,1800	64	1,1000	0,0000	-0,2500
												65	1,1000	0,0000	0,0000
												66	1,1000	0,3000	-0,2650
												67	1,1000	0,1500	-0,2500

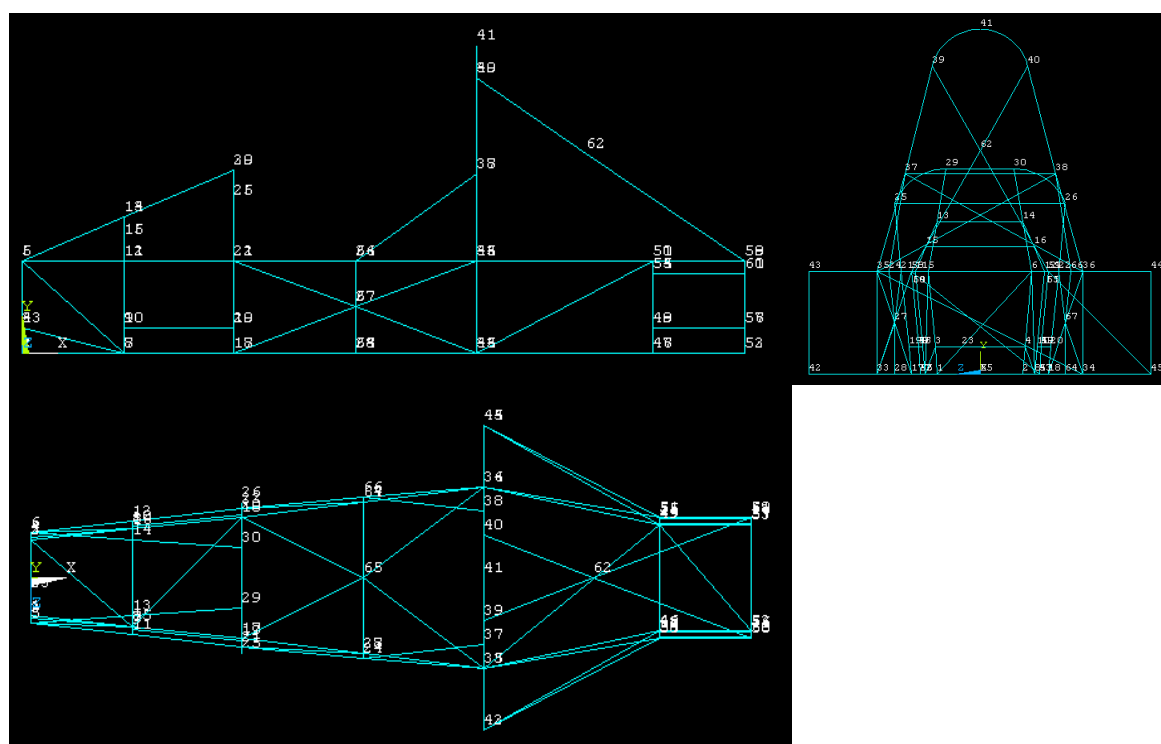


Fig. 83 – Projeções ortogonais do chassis solução n.º 4;

## **G. DIMENSÕES ELEMENTOS ORÇAMENTADOS:**

**Tabela 40 – Dimensões Dos Elementos Aplicados No Chassis da solução 3;**

ELEM	MAT	TYP	REL	ESY	SEC	NODES		Nó A			Nó B			Norma [m]	Observações
						A	B	x [m]	y [m]	z [m]	x [m]	y [m]	z [m]		
1	1	1	1	0	1	1	2	0,000	0,000	0,125	0,000	0,000	-0,125	0,250	Elementos de Secção Circular Rectos
2	1	1	1	0	1	2	4	0,000	0,000	-0,125	0,000	0,080	-0,131	0,080	Elementos de Secção Circular Rectos
3	1	1	1	0	1	4	6	0,000	0,080	-0,131	0,000	0,300	-0,150	0,221	Elementos de Secção Circular Rectos
4	1	1	1	0	1	6	5	0,000	0,300	-0,150	0,000	0,300	0,150	0,300	Elementos de Secção Circular Rectos
5	1	1	1	0	1	5	3	0,000	0,300	0,150	0,000	0,080	0,131	0,221	Elementos de Secção Circular Rectos
6	1	1	1	0	1	3	1	0,000	0,080	0,131	0,000	0,000	0,125	0,080	Elementos de Secção Circular Rectos
7	1	1	1	0	1	3	23	0,000	0,080	0,131	0,000	0,080	0,052	0,079	Elementos de Secção Circular Rectos
8	1	1	1	0	1	23	4	0,000	0,080	0,052	0,000	0,080	-0,131	0,183	Elementos de Secção Circular Rectos
9	1	1	1	0	1	6	23	0,000	0,300	-0,150	0,000	0,080	0,052	0,298	Elementos de Secção Circular Rectos
10	1	1	1	0	1	23	1	0,000	0,080	0,052	0,000	0,000	0,125	0,109	Elementos de Secção Circular Rectos
11	1	1	1	0	1	1	7	0,000	0,000	0,125	0,338	0,000	0,161	0,340	Elementos de Secção Circular Rectos
12	1	1	1	0	1	8	2	0,338	0,000	-0,161	0,000	0,000	-0,125	0,340	Elementos de Secção Circular Rectos
13	1	1	1	0	1	9	11	0,338	0,080	0,168	0,338	0,300	0,188	0,221	Elementos de Secção Circular Rectos
14	1	1	1	0	1	11	15	0,338	0,300	0,188	0,338	0,373	0,157	0,079	Elementos de Secção Circular Rectos
15	1	1	1	0	1	15	13	0,338	0,373	0,157	0,338	0,445	0,126	0,079	Elementos de Secção Circular Rectos
16	1	1	1	0	1	13	14	0,338	0,445	0,126	0,338	0,445	-0,126	0,252	Elementos de Secção Circular Rectos
17	1	1	1	0	1	14	16	0,338	0,445	-0,126	0,338	0,373	-0,157	0,079	Elementos de Secção Circular Rectos
18	1	1	1	0	1	16	12	0,338	0,373	-0,157	0,338	0,300	-0,188	0,079	Elementos de Secção Circular Rectos
19	1	1	1	0	1	12	10	0,338	0,300	-0,188	0,338	0,080	-0,168	0,221	Elementos de Secção Circular Rectos
20	1	1	1	0	1	10	8	0,338	0,080	-0,168	0,338	0,000	-0,161	0,080	Elementos de Secção Circular Rectos
21	1	1	1	0	1	6	14	0,000	0,300	-0,150	0,338	0,445	-0,126	0,369	Elementos de Secção Circular Rectos
22	1	1	1	0	1	5	13	0,000	0,300	0,150	0,338	0,445	0,126	0,369	Elementos de Secção Circular Rectos
23	1	1	1	0	1	5	11	0,000	0,300	0,150	0,338	0,300	0,188	0,340	Elementos de Secção Circular Rectos
24	1	1	1	0	1	6	12	0,000	0,300	-0,150	0,338	0,300	-0,188	0,340	Elementos de Secção Circular Rectos
25	1	1	1	0	1	5	7	0,000	0,300	0,150	0,338	0,000	0,161	0,452	Elementos de Secção Circular Rectos
26	1	1	1	0	1	6	8	0,000	0,300	-0,150	0,338	0,000	-0,161	0,452	Elementos de Secção Circular Rectos
27	1	1	1	0	1	7	17	0,338	0,000	0,161	0,700	0,000	0,200	0,364	Elementos de Secção Circular Rectos
28	1	1	1	0	1	8	18	0,338	0,000	-0,161	0,700	0,000	-0,200	0,364	Elementos de Secção Circular Rectos
29	1	1	1	0	1	17	18	0,700	0,000	0,200	0,700	0,000	-0,200	0,400	Elementos de Secção Circular Rectos
30	1	1	1	0	1	17	19	0,700	0,000	0,200	0,700	0,080	0,208	0,080	Elementos de Secção Circular Rectos
31	1	1	1	0	1	19	21	0,700	0,080	0,208	0,700	0,300	0,230	0,221	Elementos de Secção Circular Rectos
32	1	1	1	0	1	21	25	0,700	0,300	0,230	0,700	0,500	0,250	0,201	Elementos de Secção Circular Rectos
33	1	1	1	0	1	20	22	0,700	0,080	-0,208	0,700	0,300	-0,230	0,221	Elementos de Secção Circular Rectos
34	1	1	1	0	1	22	26	0,700	0,300	-0,230	0,700	0,500	-0,250	0,201	Elementos de Secção Circular Rectos
35	1	1	1	0	1	29	30	0,700	0,600	0,100	0,700	0,600	-0,100	0,200	Elementos de Secção Circular Rectos
36	1	1	1	0	1	14	30	0,338	0,445	-0,126	0,700	0,600	-0,100	0,395	Elementos de Secção Circular Rectos
37	1	1	1	0	1	25	26	0,700	0,500	0,250	0,700	0,500	-0,250	0,500	Elementos de Secção Circular Rectos
38	1	3	3	0	1	9	19	0,338	0,080	0,168	0,700	0,080	0,208	0,364	Elementos Secção Quadrada Rectos
39	1	3	3	0	1	11	21	0,338	0,300	0,188	0,700	0,300	0,230	0,364	Elementos Secção Quadrada Rectos
40	1	3	3	0	1	12	22	0,338	0,300	-0,188	0,700	0,300	-0,230	0,364	Elementos Secção Quadrada Rectos
41	1	3	3	0	1	10	20	0,338	0,080	-0,168	0,700	0,080	-0,208	0,364	Elementos Secção Quadrada Rectos
42	1	2	4	0	1	25	29	0,700	0,500	0,250	0,700	0,600	0,100	0,180	Elementos Secção Circular Curvos
43	1	2	4	0	1	30	26	0,700	0,600	-0,100	0,700	0,500	-0,250	0,180	Elementos Secção Circular Curvos
44	1	1	1	0	1	18	34	0,700	0,000	-0,200	1,500	0,000	-0,300	0,806	Elementos de Secção Circular Rectos
45	1	1	1	0	1	33	34	1,500	0,000	0,300	1,500	0,000	-0,300	0,600	Elementos de Secção Circular Rectos
46	1	1	1	0	1	33	35	1,500	0,000	0,300	1,500	0,300	0,300	0,300	Elementos de Secção Circular Rectos
47	1	1	1	0	1	35	36	1,500	0,300	0,300	1,500	0,300	-0,300	0,600	Elementos de Secção Circular Rectos
48	1	1	1	0	1	36	34	1,500	0,300	-0,300	1,500	0,000	-0,300	0,300	Elementos de Secção Circular Rectos
49	1	1	1	0	1	22	36	0,700	0,300	-0,230	1,500	0,300	-0,300	0,803	Elementos de Secção Circular Rectos
50	1	1	1	0	1	35	37	1,500	0,300	0,300	1,500	0,585	0,220	0,296	Elementos de Secção Circular Rectos
51	1	1	1	0	1	38	36	1,500	0,585	-0,220	1,500	0,300	-0,300	0,296	Elementos de Secção Circular Rectos

52	1	1	1	0	1	37	39	1,500	0,585	0,220	1,500	0,900	0,140	0,325	Elementos de Secção Circular Rectos
53	1	1	1	0	1	40	38	1,500	0,900	-0,140	1,500	0,585	-0,220	0,325	Elementos de Secção Circular Rectos
54	1	1	1	0	1	37	38	1,500	0,585	0,220	1,500	0,585	-0,220	0,440	Elementos de Secção Circular Rectos
55	1	1	1	0	1	38	35	1,500	0,585	-0,220	1,500	0,300	0,300	0,593	Elementos de Secção Circular Rectos
56	1	1	1	0	1	35	34	1,500	0,300	0,300	1,500	0,000	-0,300	0,671	Elementos de Secção Circular Rectos
57	1	1	1	0	1	43	42	1,100	0,000	-0,450	1,100	0,300	-0,465	0,300	Elementos de Secção Circular Rectos
58	1	1	1	0	1	48	49	2,080	0,300	0,200	2,080	0,300	-0,200	0,400	Elementos de Secção Circular Rectos
59	1	1	1	0	1	48	52	2,080	0,300	0,200	2,080	0,300	0,200	0,000	Elementos de Secção Circular Rectos
60	1	1	1	0	1	52	46	2,080	0,258	0,196	2,080	0,080	0,180	0,179	Elementos de Secção Circular Rectos
61	1	1	1	0	1	46	44	2,080	0,080	0,180	2,080	0,000	0,175	0,080	Elementos de Secção Circular Rectos
62	1	1	1	0	1	44	45	2,080	0,000	0,175	2,080	0,000	-0,175	0,350	Elementos de Secção Circular Rectos
63	1	1	1	0	1	45	47	2,080	0,000	-0,175	2,080	0,080	-0,180	0,080	Elementos de Secção Circular Rectos
64	1	1	1	0	1	47	53	2,080	0,080	-0,180	2,080	0,258	-0,196	0,179	Elementos de Secção Circular Rectos
65	1	1	1	0	1	53	49	2,080	0,258	-0,196	2,080	0,300	-0,200	0,042	Elementos de Secção Circular Rectos
66	1	1	1	0	1	36	49	1,500	0,300	-0,300	2,080	0,300	-0,200	0,589	Elementos de Secção Circular Rectos
67	1	1	1	0	1	35	48	1,500	0,300	0,300	2,080	0,300	0,200	0,589	Elementos de Secção Circular Rectos
68	1	1	1	0	1	33	44	1,500	0,000	0,300	2,080	0,000	0,175	0,593	Elementos de Secção Circular Rectos
69	1	1	1	0	1	34	45	1,500	0,000	-0,300	2,080	0,000	-0,175	0,593	Elementos de Secção Circular Rectos
70	1	1	1	0	1	48	56	2,080	0,300	0,200	2,380	0,300	0,200	0,300	Elementos de Secção Circular Rectos
71	1	1	1	0	1	56	58	2,380	0,300	0,200	2,380	0,258	0,196	0,042	Elementos de Secção Circular Rectos
72	1	1	1	0	1	58	54	2,380	0,258	0,196	2,380	0,080	0,180	0,179	Elementos de Secção Circular Rectos
73	1	1	1	0	1	54	50	2,380	0,080	0,180	2,380	0,000	0,175	0,080	Elementos de Secção Circular Rectos
74	1	1	1	0	1	50	44	2,380	0,000	0,175	2,080	0,000	0,175	0,300	Elementos de Secção Circular Rectos
75	1	1	1	0	1	50	51	2,380	0,000	0,175	2,380	0,000	-0,175	0,350	Elementos de Secção Circular Rectos
76	1	1	1	0	1	51	55	2,380	0,000	-0,175	2,380	0,080	-0,180	0,080	Elementos de Secção Circular Rectos
77	1	1	1	0	1	59	55	2,380	0,258	-0,196	2,380	0,080	-0,180	0,179	Elementos de Secção Circular Rectos
78	1	1	1	0	1	57	59	2,380	0,300	-0,200	2,380	0,258	-0,196	0,042	Elementos de Secção Circular Rectos
79	1	1	1	0	1	56	57	2,380	0,300	0,200	2,380	0,300	-0,200	0,400	Elementos de Secção Circular Rectos
80	1	1	1	0	1	49	57	2,080	0,300	-0,200	2,380	0,300	-0,200	0,300	Elementos de Secção Circular Rectos
81	1	1	1	0	1	45	51	2,080	0,000	-0,175	2,380	0,000	-0,175	0,300	Elementos de Secção Circular Rectos
82	1	1	1	0	1	33	45	1,500	0,000	0,300	2,080	0,000	-0,175	0,750	Elementos de Secção Circular Rectos
83	1	1	1	0	1	45	50	2,080	0,000	-0,175	2,380	0,000	0,175	0,461	Elementos de Secção Circular Rectos
84	1	1	1	0	1	39	60	1,500	0,900	0,140	1,860	0,653	0,000	0,458	Elementos de Secção Circular Rectos
85	1	1	1	0	1	60	57	1,860	0,653	0,000	2,380	0,300	-0,200	0,660	Elementos de Secção Circular Rectos
86	1	1	1	0	1	40	60	1,500	0,900	-0,140	1,860	0,653	0,000	0,458	Elementos de Secção Circular Rectos
87	1	1	1	0	1	60	56	1,860	0,653	0,000	2,380	0,300	0,200	0,660	Elementos de Secção Circular Rectos
88	1	1	1	0	1	51	56	2,380	0,000	-0,175	2,380	0,300	0,200	0,480	Elementos de Secção Circular Rectos
89	1	1	1	0	1	9	7	0,338	0,080	0,168	0,338	0,000	0,161	0,080	Elementos de Secção Circular Rectos
90	1	3	3	0	1	52	58	2,080	0,258	0,196	2,380	0,258	0,196	0,300	Elementos Secção Quadrada Rectos
91	1	3	3	0	1	46	54	2,080	0,080	0,180	2,380	0,080	0,180	0,300	Elementos Secção Quadrada Rectos
92	1	3	3	0	1	53	59	2,080	0,258	-0,196	2,380	0,258	-0,196	0,300	Elementos Secção Quadrada Rectos
93	1	3	3	0	1	47	55	2,080	0,080	-0,180	2,380	0,080	-0,180	0,300	Elementos Secção Quadrada Rectos
94	1	2	2	0	1	39	41	1,500	0,900	0,140	1,500	1,008	0,000	0,177	Elementos Secção Circular Curvos
95	1	2	2	0	1	40	41	1,500	0,900	-0,140	1,500	1,008	0,000	0,177	Elementos Secção Circular Curvos
96	1	3	3	0	1	15	16	0,338	0,373	0,157	0,338	0,373	-0,157	0,314	Elementos de Secção Circular Rectos
97	1	1	1	0	1	36	18	1,500	0,300	-0,300	0,700	0,000	-0,200	0,860	Elementos de Secção Circular Rectos
98	1	1	1	0	1	20	18	0,700	0,080	-0,208	0,700	0,000	-0,200	0,080	Elementos de Secção Circular Rectos
102	1	1	1	0	1	28	18	1,100	0,000	0,250	0,700	0,000	-0,200	0,602	Elementos de Secção Circular Rectos
103	1	1	1	0	1	28	34	1,100	0,000	0,250	1,500	0,000	-0,300	0,680	Elementos de Secção Circular Rectos
104	1	1	1	0	1	13	29	0,338	0,445	0,126	0,700	0,600	0,100	0,395	Elementos de Secção Circular Rectos
105	1	1	1	0	1	17	28	0,700	0,000	0,200	1,100	0,000	0,250	0,403	Elementos de Secção Circular Rectos
106	1	1	1	0	1	28	33	1,100	0,000	0,250	1,500	0,000	0,300	0,403	Elementos de Secção Circular Rectos
107	1	1	1	0	1	21	24	0,700	0,300	0,230	1,100	0,300	0,265	0,402	Elementos de Secção Circular Rectos
108	1	1	1	0	1	24	35	1,100	0,300	0,265	1,500	0,300	0,300	0,402	Elementos de Secção Circular Rectos
109	1	1	1	0	1	17	27	0,700	0,000	0,200	1,100	0,150	0,250	0,430	Elementos de Secção Circular Rectos
110	1	1	1	0	1	27	35	1,100	0,150	0,250	1,500	0,300	0,300	0,430	Elementos de Secção Circular Rectos
111	1	1	1	0	1	28	62	1,100	0,000	0,250	1,100	0,000	0,450	0,200	Elementos de Secção Circular Rectos
112	1	1	1	0	1	62	63	1,100	0,000	0,450	1,100	0,300	0,465	0,300	Elementos de Secção Circular Rectos
113	1	1	1	0	1	63	24	1,100	0,300	0,465	1,100	0,300	0,265	0,200	Elementos de Secção Circular Rectos



114	1	1	1	0	1	28	27	1,100	0,000	0,250	1,100	0,150	0,250	0,150	Elementos de Secção Circular Rectos
115	1	1	1	0	1	27	24	1,100	0,150	0,250	1,100	0,300	0,265	0,151	Elementos de Secção Circular Rectos
118	1	1	1	0	1	35	44	1,500	0,300	0,300	2,080	0,000	0,175	0,665	Elementos de Secção Circular Rectos
119	1	1	1	0	1	36	45	1,500	0,300	-0,300	2,080	0,000	-0,175	0,665	Elementos de Secção Circular Rectos
126	1	1	1	0	1	42	66	1,100	0,300	-0,465	1,100	0,300	-0,265	0,200	Elementos de Secção Circular Rectos
127	1	1	1	0	1	66	64	1,100	0,300	-0,265	1,100	0,150	-0,250	0,151	Elementos de Secção Circular Rectos
128	1	1	1	0	1	64	65	1,100	0,150	-0,250	1,100	0,000	-0,250	0,150	Elementos de Secção Circular Rectos
129	1	1	1	0	1	65	43	1,100	0,000	-0,250	1,100	0,000	-0,450	0,200	Elementos de Secção Circular Rectos
130	1	1	1	0	1	65	28	1,100	0,000	-0,250	1,100	0,000	0,250	0,500	Elementos de Secção Circular Rectos
131	1	1	1	0	1	63	28	1,100	0,300	0,465	1,100	0,000	0,250	0,369	Elementos de Secção Circular Rectos
132	1	1	1	0	1	42	65	1,100	0,300	-0,465	1,100	0,000	-0,250	0,369	Elementos de Secção Circular Rectos
133	1	1	1	0	1	17	65	0,700	0,000	0,200	1,100	0,000	-0,250	0,602	Elementos de Secção Circular Rectos
134	1	1	1	0	1	65	33	1,100	0,000	-0,250	1,500	0,000	0,300	0,680	Elementos de Secção Circular Rectos
152	1	1	1	0	1	63	11	1,100	0,300	0,465	0,338	0,300	0,188	0,811	Elementos de Secção Circular Rectos
153	1	1	1	0	1	62	7	1,100	0,000	0,450	0,338	0,000	0,161	0,815	Elementos de Secção Circular Rectos
155	1	1	1	0	1	62	44	1,100	0,000	0,450	2,080	0,000	0,175	1,018	Elementos de Secção Circular Rectos
156	1	1	1	0	1	12	42	0,338	0,300	-0,188	1,100	0,300	-0,465	0,811	Elementos de Secção Circular Rectos
158	1	1	1	0	1	8	43	0,338	0,000	-0,161	1,100	0,000	-0,450	0,815	Elementos de Secção Circular Rectos
160	1	1	1	0	1	43	45	1,100	0,000	-0,450	2,080	0,000	-0,175	1,018	Elementos de Secção Circular Rectos
161	1	1	1	0	1	42	49	1,100	0,300	-0,465	2,080	0,300	-0,200	1,015	Elementos de Secção Circular Rectos
162	1	1	1	0	1	48	63	2,080	0,300	0,200	1,100	0,300	0,465	1,015	Elementos de Secção Circular Rectos
172	1	1	1	0	1	12	11	0,338	0,300	-0,188	0,338	0,300	0,188	0,376	Elementos de Secção Circular Rectos
173	1	1	1	0	1	14	29	0,338	0,445	-0,126	0,700	0,600	0,100	0,454	Elementos de Secção Circular Rectos
174	1	1	1	0	1	30	13	0,700	0,600	-0,100	0,338	0,445	0,126	0,454	Elementos de Secção Circular Rectos
175	1	1	1	0	1	26	21	0,700	0,500	-0,250	0,700	0,300	0,230	0,520	Elementos de Secção Circular Rectos
176	1	1	1	0	1	22	25	0,700	0,300	-0,230	0,700	0,500	0,250	0,520	Elementos de Secção Circular Rectos
177	1	1	1	0	1	1	18	0,000	0,000	0,125	0,700	0,000	-0,200	0,772	Elementos de Secção Circular Rectos
178	1	1	1	0	1	6	13	0,000	0,300	-0,150	0,338	0,445	0,126	0,460	Elementos de Secção Circular Rectos
179	1	1	1	0	1	14	5	0,338	0,445	-0,126	0,000	0,300	0,150	0,460	Elementos de Secção Circular Rectos
183	1	1	1	0	1	3	7	0,000	0,080	0,131	0,338	0,000	0,161	0,349	Elementos de Secção Circular Rectos
184	1	1	1	0	1	4	8	0,000	0,080	-0,131	0,338	0,000	-0,161	0,349	Elementos de Secção Circular Rectos

**Tabela 41 – Total Metros Lineares De Elementos;**

Número de Elementos	141 unid	
Comprimento Total Elementos Secção Circular Rectos	48,931	metros lineares
Comprimento Total Elementos Secção Quadrada Rectos	2,657	metros lineares
Comprimento Total Elementos Secção Circular Curvos	0,714	metros lineares estimados

Considera-se um acréscimo de 5% no comprimento linear de material, de forma a considerar erro, desperdício ou aproveitamento do material na modelagem e corte das peças.

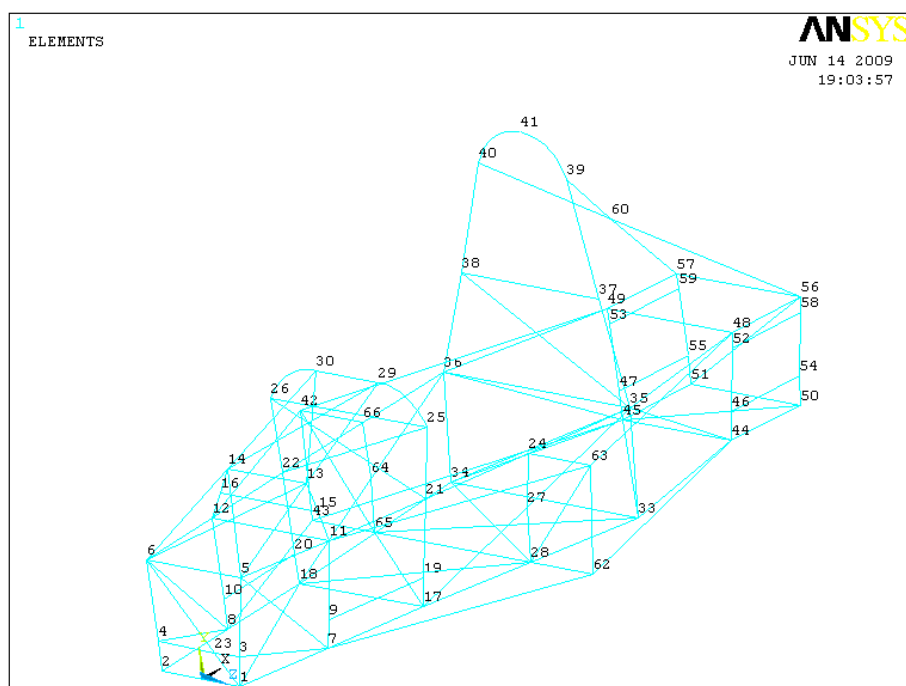
**Tabela 42 – Área Chapa Para Revestir O Mono-lugar;**

Área 45-46-47-48	0,1800	m <sup>2</sup>
Área 30-31-46-105-106-107-108	0,340	m <sup>2</sup>
Área 1-2-3-4-5-6	0,083	m <sup>2</sup>
Área 45-62-68-69	0,276	m <sup>2</sup>
Área 62-74-75-88	0,105	m <sup>2</sup>
Área 1-11-12-27-28-45-105-106-107-108	0,638	m <sup>2</sup>
Área 47-50-51-54	0,1482	m <sup>2</sup>
Total em Chapa:	1,0088	m <sup>2</sup>

Em abaixo encontra-se uma tabela com o posicionamento dos nós que deram origem aos elementos atrás demonstrados.

**Tabela 43 – Posicionamento dos nós, obtido através das análises ANSYS.**

Nó	x [m]	y [m]	z [m]	NODE	x [m]	y [m]	z [m]	NODE	x [m]	y [m]	z [m]
1	0,0000	0,0000	0,1250	23	0,0000	0,0800	0,0517	45	2,0800	0,0000	-0,1750
2	0,0000	0,0000	-0,1250	24	1,1000	0,3000	0,2650	46	2,0800	0,0800	0,1800
3	0,0000	0,0800	0,1310	25	0,7000	0,5000	0,2500	47	2,0800	0,0800	-0,1800
4	0,0000	0,0800	-0,1310	26	0,7000	0,5000	-0,2500	48	2,0800	0,3000	0,2000
5	0,0000	0,3000	0,1500	27	1,1000	0,1500	0,2500	49	2,0800	0,3000	-0,2000
6	0,0000	0,3000	-0,1500	28	1,1000	0,0000	0,2500	50	2,3800	0,0000	0,1750
7	0,3380	0,0000	0,1610	29	0,7000	0,6000	0,1000	51	2,3800	0,0000	-0,1750
8	0,3380	0,0000	-0,1610	30	0,7000	0,6000	-0,1000	52	2,0800	0,2580	0,1963
9	0,3380	0,0800	0,1680	31	0,7000	0,4380	0,1000	53	2,0800	0,2580	-0,1963
10	0,3380	0,0800	-0,1680	32	0,7000	0,4380	-0,1000	54	2,3800	0,0800	0,1800
11	0,3380	0,3000	0,1880	33	1,5000	0,0000	0,3000	55	2,3800	0,0800	-0,1800
12	0,3380	0,3000	-0,1880	34	1,5000	0,0000	-0,3000	56	2,3800	0,3000	0,2000
13	0,3380	0,4450	0,1260	35	1,5000	0,3000	0,3000	57	2,3800	0,3000	-0,2000
14	0,3380	0,4450	-0,1260	36	1,5000	0,3000	-0,3000	58	2,3800	0,2580	0,1963
15	0,3380	0,3725	0,1570	37	1,5000	0,5850	0,2200	59	2,3800	0,2580	-0,1963
16	0,3380	0,3725	-0,1570	38	1,5000	0,5850	-0,2200	60	1,8600	0,6530	0,0000
17	0,7000	0,0000	0,2000	39	1,5000	0,9000	0,1400	61	0,0000	0,0000	0,0000
18	0,7000	0,0000	-0,2000	40	1,5000	0,9000	-0,1400	62	1,1000	0,0000	0,4500
19	0,7000	0,0800	0,2080	41	1,5000	1,0079	0,0000	63	1,1000	0,3000	0,4650
20	0,7000	0,0800	-0,2080	42	1,1000	0,3000	-0,4650	64	1,1000	0,1500	-0,2500
21	0,7000	0,3000	0,2300	43	1,1000	0,0000	-0,4500	65	1,1000	0,0000	-0,2500
22	0,7000	0,3000	-0,2300	44	2,0800	0,0000	0,1750	66	1,1000	0,3000	-0,2650



**Fig. 84 – Chassis usado na orçamentação.**